

TUGAS AKHIR - MN141581

**ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS *FLOATING TERMINAL*
UNTUK *CRUDE OIL* DI TUBAN**

I PUTU SURYANA
NRP. 4111 100 046

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

FINAL PROJECT - MN141581

**TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF
FLOATING TERMINAL FOR CRUDE OIL IN TUBAN**

I PUTU SURYANA
NRP. 4111 100 046

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS *FLOATING TERMINAL* UNTUK *CRUDE OIL* DI TUBAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan -Perancangan Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

I PUTU SURYANA
NRP. 4111 100 046

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19641002 198901 1 001

SURABAYA, 5 MEI 2015

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS FLOATING TERMINAL UNTUK CRUDE OIL DI TUBAN

Nama Mahasiswa : I Putu Suryana
NRP : 4111 100 046
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Single buoy mooring (SBM) merupakan salah satu sistem tambat yang dapat digunakan dalam operasional FSO untuk tetap menjaga posisi FPO akibat pengaruh beban lingkungan (angin, arus, gelombang). Dalam penelitian ini dilakukan analisa *mooring line tension* pada sistem tambat FSO Cinta Natomas di perairan Tuban untuk kondisi *intact* (load case: *colinear* dan *non colinear*) dan *damage* (load case: *colinear* dan *non colinear*). Analisa dilakukan pada kondisi FSO *full load* dan *ballast*, dimana nilai *chain* tensionnya adalah **1093.40 kN** (*intact-full load-collinear and non collinear*), **1106.33 kN** (*intact-ballast-collinear and non collinear*), **1101.351 kN** (*damage-full load- collinear and non collinear*), **1149.71 kN** (*damage-ballst-collinear and non collinear*). Sedangkan *maximum hawser tension* **845.211 kN** (*intact-full load*), **1019.395 kN** (*intact-ballast*), **748.783 kN** (*damage-full load*), **967.741 kN** (*damage-ballast*). Pada penelitian ini juga dilakukan desain baru (SBM) guna mendukung proses *loading-offloading* sehingga sistem tandem FSO-*Shuttle tanker* tidak lagi digunakan. Analisa *mooring chain tension* dilakukan pada kondisi SBM tanpa *shuttle tanker*. Nilai *chain tension* maksimum SBM tanpa *shuttle tanker* sebesar **1250.39 kN** (*intact-collinear dan non collinear*), **1162.736 kN** (*damage-collinear dan non collinear*). Nilai *chain tension* maksimum SBM dengan *shuttle tanker* sebesar **1072.326 kN** (*intact-full load-collinear dan non collinear*), **1095.507 kN** (*intact-ballast-collinear dan non collinear*), **1076.726 kN** (*damage-full load-collinear dan non collinear*), **1140.917 kN** (*intact-ballast-collinear dan non collinear*). Sedangkan *maximum hawser tension* **794.949 kN** (*intact -full load*), **910.172 kN** (*intact-ballast*), **650.908 kN** (*damage-full load*), **773.867kN** (*damage-ballast*). Selain *mooring line analysis* pada penelitian ini juga dilakukan *fatigue life assessment* pada *bracket* di *midship* FSO serta *cost etimation* pembangunan SBM baru. Hasil *remaining fatigue life* yang diperoleh untuk *bracket 1* adalah **-30.2** (load case $0.4t_{scant}$), **-30.12** (load case $0.57t_{scant}$), **-29.99** (load case $0.73t_{scant}$), **-29.46** (load case $0.9t_{scant}$). Sedangkan untuk *bracket 2* adalah **-13.63** (load case $0.4t_{scant}$), **-15.57** (load case $0.57t_{scant}$), **-17.02** (load case $0.73t_{scant}$), **-17.55** (load case $0.9t_{scant}$). Biaya pembangunan SBM baru membutuhkan *cost* sebesar **USD 14,428,701**, biaya reparasi *bracket* sebesar **USD 36,802**, dan biaya replating sebesar **USD 241,162**.

Kata kunci: *Chain, fatigue life, hawser, single buoy mooring.*

TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF FLOATING TERMINAL FOR CRUDE OIL IN TUBAN

Author : I Putu Suryana
ID No. : 4111 100 046
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Single *buoy mooring* (SBM) is one of the *mooring* system which is use in the FSO operation to keep the vessel position due to the effect of environmental loads (wind, current, and wave). In this research, *mooring* line tension analysis of FSO Cinta Natomas *mooring* system has been conducted in condition both of intact (load case: collinear and non collinear) and damage (load case: collinear and non collinear). Analysis was conducted in FSO condition both of full load and ballast and the maximum chain tension are **1093.40 kN** (intact-full load-collinear and non collinear), **1106.33 kN** (intact-ballast- collinear and non collinear), **1101.351 kN** (damage-full load- collinear and non collinear), dan **1149.71 kN** (damage-ballst- collinear and non collinear). The maximum hawser tension **794.949 kN** (intact -full load), **910.172 kN** intact-ballast), **650.908 kN** (damage-full load), **773.867kN** (damage-ballast). Also carry out the analysis of new build SBM to support loading-offloading process in aim to eliminate the tandem system between FSO and shuttle *tanker*. *Mooring* chain tension analysis has been conducted in condition SBM both of with and without shuttle *tanker*. The maximum chain tensions of SBM without shuttle *tanker* are **1250.39 kN** (intact-collinear dan non collinear), **1162.736 kN** (damage-collinear dan non collinear. The maximum line tensions of SBM with shuttle *tanker* are **1072.326 kN** (intact-full load-collinear dan non collinear), **1095.507** (intact-ballast-collinear dan non collinear), **1076.726 kN** (damage-full load-collinear dan non collinear), **1140.917 kN** (intact-ballast-collinear dan non collinear). The maximum hawser tension **794.949 kN** (intact -full load), **910.172 kN** intact-ballast), **650.908 kN** (damage-full load), **773.867kN** (damage-ballast). Fatigue life assessment and cost estimation of new build SBM also has been conducted in this research. Fatigue life assessment analysis was conducted to find the remaining fatigue life of *bracket*. The remaining fatigue life for *bracket* 1 **-30.2** (load case $0.4t_{scant}$), **-30.12** (load case $0.57t_{scant}$), **-29.99** (load case $0.73t_{scant}$), **-29.46** (load case $0.9t_{scant}$), for *bracket* 2 are **-13.63** (load case $0.4t_{scant}$), **-15.57** (load case $0.57t_{scant}$), **-17.02** (load case $0.73t_{scant}$), **-17.55** (load case $0.9t_{scant}$). The estimation of new build SBM cos is **USD 14,428,701**, *bracket* reparation cost is **USD 36,802**, and replating cost is **USD 241,162**.

Keywords: *Chain, fatigue life, hawser, single buoy mooring.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D selaku Kepala Jurusan Teknik Perkapalan ITS atas bimbingan dan motivasinya selama masa studi di Jurusan Teknik Perkapalan, ITS, Surabaya.
3. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T selaku Dosen Wali atas bimbingannya selama masa studi di Jurusan Teknik Perkapalan, ITS, Surabaya.
4. Bapak Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Perancangan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan, ITS, Surabaya atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium.
5. Ibu Ir. Hety Anita Kurniawati, M.Sc. selaku dosen Jurusan Teknik Perkapalan atas bimbingan dan motivasi selama masa studi di Jurusan Teknik Perkapalan, ITS, Surabaya.
6. Kedua orang tua yang selalu mendukung penulis dengan motivasi dan doa.
7. Nyoman Sri Andriani Dewi yang selalu mendukung penulis dengan motivasi dan doa.
8. Ahmad Baidowi, Boy Novryansyah, Gita Marina, dan Matias Adi yang telah membantu pengerjaan Tugas Akhir penulis.
9. Teman-teman CENTERLINE-P51 dan TPKH-ITS yang telah menemani dan menjadi keluarga selama menempuh pendidikan S1 di Surabaya.

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 5 Mei 2015

I Putu Suryana

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR REVISI.....	v
MAN PERUNTUKAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Pendahuluan.....	1
I.2. Latar Belakang Masalah	1
I.3. Perumusan Masalah	2
I.4. Tujuan	2
I.5. Batasan Masalah	2
I.6. Manfaat	3
I.7. Hipotesis	3
Bab II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1. Pendahuluan.....	5
II.2. <i>Floating (Production) Storage Offloading</i>	5
II.3. <i>Mooring System</i>	6
II.3.1. <i>Single Point/Buoy Mooring</i>	6
II.3.2. <i>CALM (Catenary Anchor Leg Mooring)</i>	7
II.4. Konsep Pembebanan.....	8
II.4.1. Beban Arus	9
II.4.2. Beban Gelombang	10
II.5. Formulasi Gerakan Bangunan Laut Akibat Eksitasi Gelombang	12
II.6. Respon Struktur	13
II.7. Spektrum Gelombang	14
II.8. Analisa Kekuatan <i>Mooring</i>	16
II.8.1. Simulasi Gerak Dinamik Kapal	16
II.8.2. Simulasi Respon <i>Mooring Line</i>	17
II.9. Kondisi Analisa <i>Mooring</i>	18
II.9.1. Rekomendasi Metode Analisa dan Kondisi.....	19
II.10. Kekuatan dan kelelahan	21
II.10.1. Prosedur Perhitungan Kelelahan.....	22
II.10.2. Desain Kurva S-N.....	23
II.10.3. <i>Fatigue Damage Calculation</i>	25
Bab III METODOLOGI	29
III.1. Pendahuluan	29
III.2. <i>Flow Chart</i>	29
III.2.1. Mengumpulkan Data.....	30

III.2.2.	Menganalisa <i>Maximum Tension (Existing Terminal)</i>	30
III.2.3.	Melakukan <i>Fatigue Life Asssesment</i>	30
III.2.4.	<i>Repair List</i>	30
III.2.5.	Mendesain Alternatif Konfigurasi <i>Floating Terminal</i>	30
III.2.6.	Menganalisa <i>Maximum Tension (Alternatif Konfigurasi Floating Terminal)</i>	31
III.2.7.	Melakukan Analisa Ekonomi.....	31
III.3.	Data Struktur	31
Bab IV	PEMBUATAN MODEL	35
IV.1.	Pendahuluan	35
IV.2.	Model Pada <i>Maxsurf Pro</i>	35
IV.3.	Model Pada ANSYS Aqwa.....	36
IV.4.	Model Pada Orcaflex.....	37
Bab V	ANALISA DAN PEMBAHASAN	39
V.1.	Pendahuluan.....	39
V.2.	Validasi	39
V.3.	Konvergensi	40
V.4.	Perhitungan Karakteristik Motion	46
V.5.	Konfigurasi Alternatif Floating Terminal	59
V.6.	Perhitungan Line Tension	60
V.6.1.	Perhitungan <i>Line Tension SBM + FSO (full load condition)-Intact</i>	62
V.6.2.	Perhitungan <i>Line Tension SBM + FSO (balast condition)-Intact</i>	65
V.6.3.	Perhitungan <i>Line Tension SBM + FSO (full load condition)-Damage</i>	67
V.6.4.	Perhitungan <i>Line Tension SBM + FSO (ballast condition)-Damage</i>	69
V.6.5.	Perhitungan <i>Line Tension SBM without Tanker -Intact</i>	71
V.6.6.	Perhitungan <i>Line Tension SBM+Tanker (full load) -Intact</i>	73
V.6.7.	Perhitungan <i>Line Tension SBM+Tanker (ballast load) -Intact</i>	75
V.6.8.	Perhitungan <i>Line tension SBM without Tanker -Damage</i>	77
V.6.9.	Perhitungan <i>Line Tension SBM+Tanker (full load) -Damage</i>	79
V.6.10.	Perhitungan <i>Line Tension SBM+Tanker (Ballast) -Damage</i>	81
V.7.	Nilai Maksimum Tension Chain dan Hawser.....	83
V.8.	Perhitungan Fatigue Life FSO	87
V.9.	Analisa Ekonomis	88
V.9.1.	Biaya Pembangunan SBM.....	88
V.9.2.	Biaya Reparasi <i>Bracket</i>	90
V.9.3.	Biaya Replating	91
Bab VI	KESIMPULAN DAN SARAN	93
VI.1.	Kesimpulan.....	93
VI.2.	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA	96
BIODATA PENULIS	97
LAMPIRAN	98

DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Amplitudo dan tinggi gelombang pada sebuah spectrum.....	15
Tabel II-2 Rekomendasi Metode Analisa dan Kondisi	18
Tabel II-3 Batas tension dan safety factor kondisi ULS ALS	21
Tabel II-4 Tipe sambungan (CSR for Double Hull Oil <i>Tanker</i>)	24
Tabel II-5 Distribution of weibull factor	27
Tabel III-1 Data utama FSO	31
Tabel III-2 Data utama Single <i>Buoy Mooring</i>	31
Tabel III-3 Data utama <i>mooring</i> chain	32
Tabel III-4 Data utama hawser	32
Tabel III-5 Data lingkungan design storm conditio (100 years return)	33
Tabel III-6 Data lingkungan operation condition (10 years return)	33
Tabel III-7 Data utama shuttle <i>tanker</i>	33
Tabel V-1 Validasi FSO	39
Tabel V-2 Validasi shuttle <i>tanker</i>	39
Tabel V-3 <i>Mooring</i> lines safety factor	62
Tabel V-4 Hawser safety factor.....	62
Tabel V-5 Line tension SBM+FSO (full load condition).....	63
Tabel V-6 Line tension SBM+ FSO (ballast condition).....	65
Tabel V-7 Line tension SBM+FSO (full load).....	67
Tabel V-8 Line tension SBM+FSO (ballast).....	69
Tabel V-9 Line tension SBM without <i>Tanker</i>	71
Tabel V-10 Line tension SBM+ <i>Tanker</i> (Full load).....	73
Tabel V-11 Line tension SBM+ <i>Tanker</i> (ballast).....	75
Tabel V-12 Line Tension SBM without <i>tanker</i>	77
Tabel V-13Line tension SBM+ <i>Tanker</i> (full load).....	79
Tabel V-14 Line tension SBM+ <i>tanker</i>	81
Tabel V-15 Maximum line tension SBM+FSO (intact).....	83
Tabel V-16 Maximum line tension SBM+FSO (damage)	84
Tabel V-17 Maximum tension line SBM without shuttle <i>tanker</i> (intact).....	84
Tabel V-18 Maximum tension line SBM+shuttle <i>tanker</i> (intact)	85
Tabel V-19 Maximum tension line SBM without shuttle <i>tanker</i> (damage).....	86
Tabel V-20 Maximum tension line SBM + shuttle <i>tanker</i> (damage).....	86
Tabel V-21 Summary hasil perhitungan fatigue life <i>bracket</i>	88
Tabel V-22 Perhitungan biaya <i>mooring</i> component acquisition	89
Tabel V-23 Perhitungan biaya design, review, and bid support.....	89
Tabel V-24 Perhitungan biaya instalasi SBM	89
Tabel V-25 Perhitungan biaya penggantian <i>bracket</i>	91
Tabel V-26 Perhitungan biaya replating.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar II-1 Catenary Anchor Leg <i>Mooring</i> (CALM)	7
Gambar II-2 Gelombang regular	11
Gambar II-3 Gelombang ireguler	12
Gambar II-4 Six Degree of Freedom	12
Gambar II-5 Distribution of weibull factor	27
Gambar III-1 Flow chart penelitian	29
Gambar IV-1 Model FSO di Maxsurf Pro	35
Gambar IV-2 Model shuttle <i>tanker</i> pada Maxsurf Pro	36
Gambar IV-3 Model FSO pada ANSYS Aqwa	36
Gambar IV-4 Model shuttle <i>tanker</i> pada ANSYS Aqwa	37
Gambar IV-5 Model FSO dan SBM pada Orcaflex	37
Gambar IV-6 Model shuttle <i>tanker</i> dan SBM pada Orcaflex	38
Gambar V-1 Tampak samping alternatif konfigurasi floating terminal	60
Gambar V-2 Tampak atas konfigurasi alternatif floating terminal	60
Gambar V-3 Collinear	61
Gambar V-4 Non Collinear	62
Gambar V-5 Critical area posisiton	87
Gambar V-6 Penggantian <i>bracket</i>	90
Gambar V-7 Penggantian <i>bracket</i> untuk deck longitudinal dan deck transverse	90
Gambar V-8 Penggantian <i>bracket</i> untuk inner bottom longitudinal dan solid floor	91

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Pendahuluan

Pada Bab Pendahuluan ini akan dijelaskan gambaran umum penelitian yang akan dikerjakan pada Tugas Akhir ini. Bab ini terdiri dari beberapa subbab, antara lain: latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, serta hipotesis. Paparan pada Bab ini akan menjadi dasar untuk merumuskan dasar teori yang akan dijelaskan lebih lanjut pada Bab II dan metodologi yang akan dijelaskan lebih lanjut pada Bab III.

I.2. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber cadangan minyak dan gas bumi. Hal tersebut menyebabkan banyaknya tumbuh perusahaan minyak dan gas di Indonesia yang menggali kekayaan alam Indonesia tersebut. Proses eksplorasi dan eksploitasi untuk memperoleh cadangan minyak tersebut tentunya membutuhkan infrastruktur yang baik guna memperoleh hasil yang maksimal. Teknologi eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan minyak dan gas. Salah satunya adalah dengan penggunaan *Floating Storage and Offloading* (FSO). FSO merupakan salah satu bangunan terapung yang digunakan untuk proses *storage* atau penampungan minyak dan gas sebelum ditransfer ke *tanker* untuk didistribusikan ke konsumen atau pasaran. Proses pembuatan FSO dapat dilakukan dengan konversi dari kapal *tanker* ataupun desain baru. Hal ini disesuaikan dengan kebutuhan masa operasional FSO.

Pada saat beroperasi (*loading* ataupun *offloading*), FSO mengalami gerakan yang disebabkan oleh beban lingkungan (arus, angin, dan gelombang) dimana tempat FSO beroperasi. Oleh karena itu dibutuhkan sistem tambat yang berguna sebagai pengikat FSO agar tetap pada posisinya. Gerakan dari FSO menyebabkan adanya gaya yang bekerja pada sistem tambat tersebut (*tension force*, *restoring force*, dan *damping*) pada *mooring system*. Gaya-gaya yang terjadi pada *mooring system* sangat bergantung pada karakteristik motion FSO, begitu pula sebaliknya.

Single buoy mooring merupakan salah satu sistem yang dapat digunakan untuk operasional FSO. Kelebihan dari sistem ini adalah FSO akan selalu mengikuti arah datangnya

gelombang sehingga posisi *heading* FSO akan selalu mengikuti arah datangnya gelombang. Posisi tersebut akan meminimalisir beban yang bekerja pada kapal. Namun sistem ini tidak dapat menjaga kapal tetap pada posisi yang diharapkan (berputar 360^0 dengan *buoy* sebagai pusat rotasi).

Selain tidak dapat menjaga kapal pada posisi tetap penggunaan *single bouy mooring* juga riskan terhadap resiko putusnya *hawser* (pengikat antara FSO dan *single buoy mooring*) serta terjadinya tubrukan antara FSO dan *shuttle tanker*. Hal tersebut pernah terjadi diperairan Tuban, dimana tubrukan terjadi antara FSO Cinta Natomas dan *shuttle tanker* ketika proses *offloading* (FSO ke *shuttle tanker*) dilakukan. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari lapangan, tubrukan tersebut terjadi akibat cuaca buruk (gelombang tinggi, angin kencang, dan arus kuat) serta tidak mempunya *tug boat* menarik *shuttle tanker* untuk menjaga posisi *shuttle tanker* tetap diposisinya.

Kejadian tersebut mengindikasikan bahwa system yang telah ada tersebut memiliki tingkat *safety* yang kurang. Maka dalam tugas akhir ini bertujuan melakukan analisa teknis dan ekonomis alternatif konfigurasi *floating terminal* serta melakukan kajian teknis *existing terminal* (*single buoy mooring* + FSO) untuk keperluan masa operasi 10 tahun kedepan.

I.3. Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahasan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah hasil kajian teknis *existing terminal*?
2. Bagaimanakah alternatif konfigurasi *floating terminal*?
3. Bagaimanakah hasil kajian teknis dan ekonomis sesuai tujuan 2?

I.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat kajian teknis *existing terminal*.
2. Membuat alternatif konfigurasi *floating terminal*.
3. Melakukan kajian teknis dan ekonomis sesuai tujuan 2.

I.5. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini permasalahan difokuskan pada hal-hal sebagai berikut:

- Lokasi terminal terletak di Tuban.
- Data lingkungan, data ukuran utama FSO, data ukuran utama *single buoy mooring* berdasarkan *feasibility study* yang telah dilakukan oleh ABSG Consulting Inc. Singapore.

- *Shuttle Tanker* yang digunakan adalah jenis *Afframax*.
- Variasi arah datangnya arus adalah 45^0 relatif terhadap arah datangnya gelombang. Sedangkan variasi arah datangnya angin 30^0 relatif terhadap arah datangnya gelombang.
- *Safety factor* untuk analisa *mooring line tension* sesuai dengan *Rules for Building and Classing Single Point Moorings*, ABS.
- *Fatigue assesment* hanya dilakukan pada FSO menggunakan metode deterministik (Palngren Milner Rule) untuk masa operasional 10 tahun.
- Analisa biaya dilakukan hanya pada biaya reparasi FSO berdasarakan hasil *fatigue assesment*, *repair list FSO* serta biaya pembangunan *single buoy mooring* (SBM).
- Tidak dilakukan analisa *safety* untuk alternatif konfigurasi *floating terminal*.

I.6. Manfaat

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan masukan apakah tetap menggunakan *existing terminal* untuk masa operasi 10 tahun kedepan serta dapat dijadikan pertimbangan untuk penggunaan alternatif konfigurasi *floating terminal* untuk masa operasi 10 tahun kedepan. Selain itu, hasil ini juga dapat digunakan sebagai referensi untuk analisa selanjutnya maupun penelitian lain yang sejenis.

I.7. Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini adalah mendapatkan hasil kajian teknis dan ekonomis *existing terminal* serta alternatif konfigurasi *floating terminal* untuk masa operasi 10 tahun kedepan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Pendahuluan

Pada Bab I sebelumnya telah dijelaskan secara garis besar tentang gambaran umum penelitian yang akan dikerjakan pada Tugas Akhir ini. Pada Bab II ini akan dijelaskan mengenai pengertian dasar *floating storage offloading* (FSO), *mooring system*, konsep pembebanan, formulasi gerakan bangunan laut akibat eksitasi gelombang, respon struktur, respon gelombang, analisa kekuatan *mooring*, kondisi analisa *mooring*, serta kekuatan dan kelelahan. Penjelasan pada Bab ini akan dijadikan sebagai pedoman untuk menyusun metodologi yang akan dijelaskan lebih detail pada Bab III serta hasil analisa yang akan dijelaskan lebih detail pada Bab V.

II.2. *Floating (Production) Storage Offloading*

Floating production, storage and offloading (FPSO) banyak digunakan oleh industri minyak dan gas lepas pantai untuk pengolahan hidrokarbon dan untuk penyimpanan minyak. Sebuah FPSO dirancang untuk menerima hidrokarbon yang dihasilkan dari dekat *platform* atau *subsea template* yang selanjutnya diproses menjadi *crude oil* sampai dapat diturunkan ke sebuah *tanker* atau diangkut melalui pipa. FPSO lebih disukai di perbatasan wilayah lepas pantai karena mudah untuk diinstall, dan tidak memerlukan infrastruktur pipa lokal untuk ekspor minyak. FPSO bisa berasal dari konversi *oil tanker* atau dapat dibangun khusus. Jenis lain yang juga banyak digunakan adalah kapal yang digunakan hanya untuk menyimpan minyak (tanpa pengolahan itu) disebut sebagai *floating storage and offloading vessel* (FSO).

Adapun mekanisme penggunaan FPSO adalah minyak yang dihasilkan dari lepas pantai dapat diangkut ke daratan baik melalui pipa atau dengan kapal *tanker*. Ketika kapal *tanker* dipilih untuk mengangkut minyak, perlu untuk mengumpulkan minyak dalam beberapa bentuk tangki penyimpanan sehingga kapal *tanker* minyak tidak terus-menerus diduduki selama produksi minyak, dan hanya dibutuhkan setelah minyak yang cukup telah diproduksi untuk mengisi *tanker*.

Keuntungan dari *Floating production, storage dan offloading* sangat efektif di daerah terpencil atau laut di mana pipa dasar laut yang tidak efektif. FPSO menghilangkan kebutuhan

untuk meletakkan pipa jarak jauh mahal dari fasilitas pengolahan ke terminal darat. Hal ini dapat memberikan solusi yang menarik secara ekonomi untuk ladang minyak yang lebih kecil yang dapat habis dalam beberapa tahun dan tidak membenarkan biaya instalasi pipa. Selanjutnya, setelah lapangan habis, FPSO dapat dipindahkan ke lokasi baru

II.3. Mooring System

Sistem tambat (*mooring system*) secara umum terdiri atas tali tambat, konektor dan jangkar yang digunakan untuk menambatkan kapal ditengah laut. Sistem ini terdiri dari satu atau lebih tali tambat yang terhubung ke haluan atau buritan kapal. Umumnya kapal tertambat tetap untuk jangka waktu singkat, namun ketika eksplorasi dan produksi minyak dan gas lepas pantai mulai dikenal, sistem tambat tidak lagi untuk jangka waktu yang singkat melainkan permanen. Saat ini telah dikembangkan berbagai sistem tambat yang digunakan secara permanen guna menunjang kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas lepas pantai.

II.3.1. Single Point/Buoy Mooring

Sebuah *buoy mooring* tunggal (SBM) (juga dikenal sebagai *single-point mooring* atau SPM) adalah *loading buoy* yang berlabuh di lepas pantai, yang berfungsi sebagai titik tambat dan interkoneksi untuk *tanker* dalam proses *loading* dan *unloading* gas atau produk cair. SPM mampu menangani berbagai ukuran kapal, bahkan *very large crude carrier* (VLCC). Ada empat bagian dalam total sistem *buoying*, antara lain: *the body of the buoy*, *mooring and anchoring elements*, and *product transfer system* serta komponen lainnya. Semua bagian ini memiliki peranan yang sama. Sedangkan untuk komponen *mooring* meliputi: *anchors or piles* (untuk menghubungkan the *mooring* ke *the seabed*, *sinker or anchor chain joint to buoy* (SPM), *anchor chain*, *chain stoppers* (untuk menghubungkan chains ke *buoy*). SPM terdiri atas beberapa bentuk, antara lain: *Turret mooring*, *Catenary Anchor Line Mooring* (CALM), dan *Single Anchor Line Mooring* (SALM).

Single point mooring atau *single buoy mooring* secara umum digunakan khusus untuk kapal (bukan bangunan apung). Prinsip sistem ini adalah kapal harus berada pada posisi searah terhadap arah gelombang. Sistem ini memungkinkan kapal dipengaruhi oleh lingkungan seperti angin, arus dan gelombang yang berarti kapal akan bergerak sesuai dengan arah angin, arus dan gelombang. Hal ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh beban lingkungan (angin, arus, dan gelombang) pada kapal. Keuntungan dari sistem ini, kapal dapat diubah posisinya dengan relatif mudah.

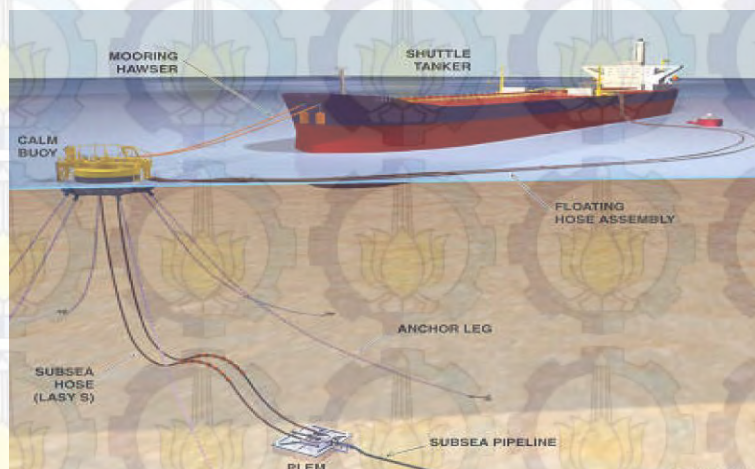
II.3.2. CALM (*Catenary Anchor Leg Mooring*)

Sistem ini memiliki dua fungsi utama yaitu menjaga *tanker* tetap terikat pada *single buoy mooring* dan mentransfer fluida (*crude oil* atau *refined oil*) ketika kapal dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (angin, arus, gelombang). Sistem CALM terdiri atas *buoy* besar yang didukung oleh sejumlah kaki rantai yang tertambat di dasar laut. *Bouy* bergerak bebas ke atas dan bawah, kearah samping serta mengalami gerakan *rolling* dan *pitching*. *Tanker* dan *buoy* dihubungkan dengan *hawser* (berbahan *synthetic rope*) yang berfungsi untuk mengikat kapal dan *buoy*. Proses *loading* dan *unloading* dilakukan menggunakan *flexible marine hoses* yang menghubungkan *buoy* dan *manifold* pada *tanker*. Pada bagian bawah dari *buoy* terhubung dengan *riser system* atau *flow lines* yang muncul dari dasar laut. Keuntungan dari system CALM sebagai berikut:

- Operasi *cargo transfer* tetap dapat dilakukan walaupun *tanker* berputar mengelilingi *buoy* sebagai respon dari kondisi laut dan cuaca.
- Gaya pada *mooring line* akibat beban lingkungan dapat diminimalkan karena kemampuan *tanker* dan dalam menyesuaikan posisinya.
- *Tanker* dapat ditambat dan dilepaskan secara cepat.
- *Buoy* dapat digunakan kembali untuk terminal lepas pantai yang lain, dengan kondisi lingkungan yang tidak jauh berbeda.

Kekurangan dari system CALM sebagai berikut:

- Proses tambat hanya dapat dilakukan pada kondisi lingkungan yang cukup tenang.
- Pada kondisi laut yang buruk, *tanker* dapat bergeser menuju *buoy* dan dapat mengakibatkan kerusakan pada *floating hose*. (Afriansyah, 2013)



Gambar II-1 Catenary Anchor Leg Mooring (CALM)

(sumber: <http://nom.nb.no/eng/The-Field/Oil-and-gas-transport/Loading-buoys-various-solutions>)

II.4. Konsep Pembebanan

Dalam proses perancangan struktur lepas pantai (*offshore structure*), penentuan kemampuan kerja struktur dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada struktur tersebut. Perancangan harus menentukan akurasi. Perancang harus menentukan akurasi beban yang akan dipakai dalam perancangan *offshore structure* terlebih dahulu. Beban-beban yang harus dipertimbangkan oleh perancang dalam perancangan *offshore structure* adalah sebagai berikut:

- Beban mati (*dead load*)

Beban mati adalah beban dari semua komponen kering serta peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur, meliputi: berat struktur, berat peralatan dan berat permesinan yang digunakan dalam proses pengeboran ketika sedang tidak dioperasikan.

- Beban hidup (*live load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada struktur selama dipakai (menjalankan fungsi) dan tidak berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain. Contoh beban yang termasuk dalam beban hidup ini adalah beban yang diakibatkan oleh pengoprasian mesin atau peralatan lainnya pada suatu struktur yang berhubungan dengan operasi struktur tersebut termasuk beban pengoprasian *crane*.

- Beban akibat kecelakaan (*accidental load*)

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang terjadi pada struktur, misalnya tubrukan dengan kapal pemandu operasi, putusnya tali tambat, dan kebakaran.

- Beban lingkungan (*environmental load*)

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu struktur lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang digunakan dalam perancangan adalah beban angin, beban gelombang dan beban arus.

Suatu *mooring system* dianalisis berdasarkan desain kriteria yang diformulasikan dalam 3 batasan yang telah ditetapkan (DNV-OS-E301, 2004) yaitu:

- *Ultimate Limit State* (ULS), untuk memastikan bahwa sebuah *mooring lines* cukup kuat untuk bertahan terhadap efek beban yang ditimbulkan oleh beban lingkungan pada kondisi ekstrim.

- *Accidental Limit State* (ALS), untuk memastikan bahwa suatu *mooring system* memiliki kapasitas yang cukup untuk bertahan pada kegagalan sebuah *mooring line* dimana penyebab dari terjadinya kegagalan tersebut tidak diketahui.
- *Fatigue Limit State* (FTS), untuk memastikan bahwa sebuah *mooring lines* memiliki kapasitas yang cukup untuk bertahan pada beban yang bersifat siklis. (Suantara, 2012)

II.4.1. Beban Arus

Beban arus merupakan salah satu beban lingkungan yang memberikan gaya terhadap *offshore structure*. Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi non-linier. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linier. Untuk perancangan biasanya digunakan nilai maksimum dari kecepatan arus (dibawah kondisi pasang surut). Kecepatan arus bervariasi terhadap waktu dan kedalaman, untuk perairan yang dangkal, *profile* kecepatan horizontal biasanya diasumsikan bervariasi seperti angin dan memiliki kecepatan maksimum pada permukaan air. Untuk *tanker* dengan sarat yang besar pada perairan yang dangkal, variasi arus terhadap kedalaman harus dipertimbangkan. Perhitungan beban arus (gaya yang dihasilkan oleh arus) dapat dilakukan dengan 2 cara, antara lain: *model test* yang dilakukan pada *towing tank* atau *wind tunnel* dan perhitungan numerik. Perhitungan secara numerik dilakukan dengan menggunakan rumus berikut (Afriansyah, 2013):

- Perhitungan gaya arus akibat bentuk dari bow dan stern kapal

$$F_{cx} = C_{cx} S V_c^2 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana

F_{cx} = current force on the bow (N)

C_{cx} = current force coefficient on the bow,

$$= 0.016 \text{ lb}/(\text{ft}^2 \cdot \text{kt}^2) (2.89 \text{ Nsec}^2/\text{m}^4)$$

S = wetted surface area of the hull including appendages, $\text{ft}(\text{m}^2)$

V_c = design current speed, knots (m/sec)

- Perhitungan gaya arus akibat lebar dari kapal

$$F_{cy} = C_{cy} S V_c^2 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana

F_{cy} = current force on the beam, lb (N)

$$C_{cy} = \text{current force coefficient on the beam,} \\ = 0.4 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{kt}^2 (72.37 \text{ Nsec}^2/\text{m}^4)$$

II.4.2. Beban Gelombang

Beban gelombang yang dialami *offshore structural elements* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: bentuk geometri *offshore structure*, ukuran dari elemen-elemen yang relatif terhadap *wave length* dan orientasinya ke arah propagasi gelombang, kondisi *hydrodynamic*, serta sistem dari struktur tersebut apakah *compliant* atau *rigid*. Secara umum terdapat 3 teori yang digunakan untuk perhitungan gaya gelombang:

- Teori morison

Persamaan morison mengasumsikan bahwa gelombang terdiri dari komponen gaya inersia dan *drag force* (hambatan) yang dijumlahkan secara linier. Persamaan morison lebih tepat diterapkan pada kasus struktur dimana gaya hambatan merupakan komponen yang dominan. Hal ini biasanya dijumpai pada struktur yang ukuran diameternya (D) lebih kecil dibandingkan panjang gelombangnya (λ)

- Teori Froude-Krylov

Teori Froude-Krylov digunakan bilamana gaya hambatan relatif kecil dan gaya inersia dianggap lebih berpengaruh, dimana struktur dianggap kecil. Teori ini mengadopsi metode tekanan gelombang *incident* dan bidang tekanan pada permukaan struktur. Keuntungan dari teori ini adalah untuk struktur yang simetris, perhitungan gaya dapat dilakukan dengan persamaan terangkai (*closed-form*) dan koefesien-koefesien gayanya mudah ditentukan.

- Teori Difraksi

Bilamana suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.

Syarat pemilihan teori untuk perhitungan gaya gelombang didasarkan pada perbandingan antara diameter struktur (D) dengan panjang gelombang (λ) sebagai berikut:

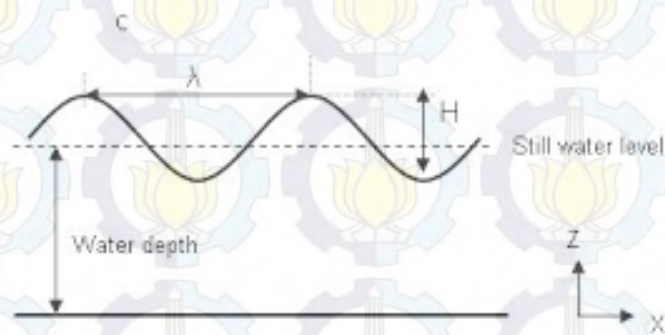
- $D/\lambda > 1$ = gelombang mendekati pemantulan murni, yang artinya persamaan morison tidak valid

- $D/\lambda > 0.2$ = difraksi gelombang perlu diperhitungkan, yang artinya persamaan morison tidak valid
- $D/\lambda < 0.2$ = persamaan morison valid

Pada dasarnya pembagian gelombang untuk perhitungan struktur bangunan apung dibagi menjadi 2 bagian, yaitu:

A. Gelombang regular

Gelombang reguler merupakan gelombang dengan periode tunggal, sehingga gelombang ini juga mempunyai spektrum tunggal. Gelombang regular mempunyai tinggi dan periode gelombang yang tetap terhadap waktu.

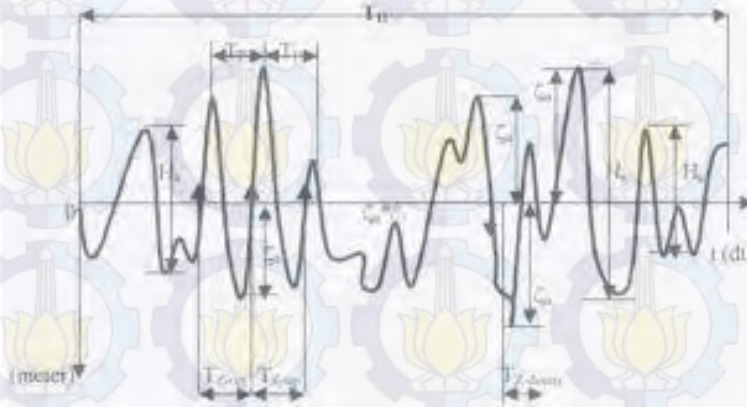


Gambar II-2 Gelombang regular

(sumber: <http://www.coastalpractice.net/glossary/sinusoidal%20wave.htm>)

B. Gelombang irregular

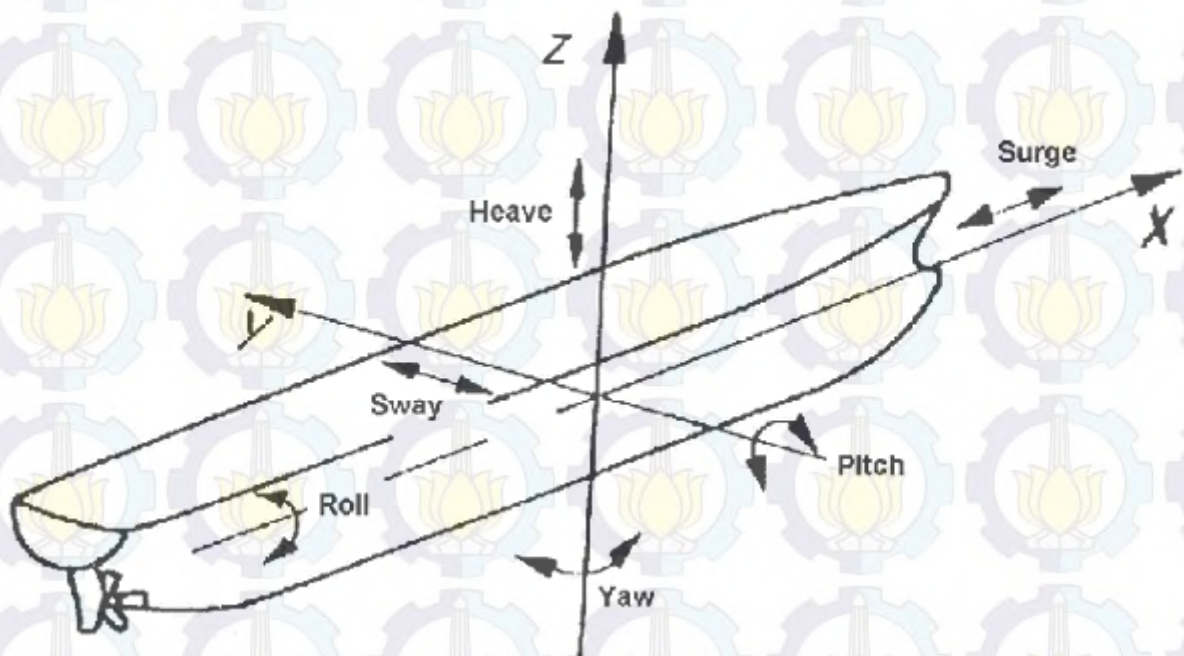
Gelombang irregular merupakan gelombang superposisi dari beberapa gelombang reguler yang mempunyai frekuensi dan tinggi gelombang berbeda. Gelombang irregular mempunyai tinggi dan periode gelombang yang berubah terhadap waktu. Gelombang irregular dapat diklasifikasikan kedalam spektrum tertentu, yang tergantung dari tinggi dan periode gelombangnya. Berbagai spektrum gelombang yang ada antara lain Spektrum Bretschneider, Jonswap, Goda, dan lain- lain.



Gambar II-3 Gelombang ireguler
(sumber: <https://rahmat88aceh.wordpress.com/2008/07/19/jenis-jenis-gelombang-air/>)

II.5. Formulasi Gerakan Bangunan Laut Akibat Eksitasi Gelombang

Apabila suatu bangunan laut terkena eksitasi gelombang reguler, maka bangunan laut tersebut akan mengalami gerakan osilasi dalam 6-derajat kebebasan. Dengan memakai konvensi sumbu tangan kanan, gerakan-gerakan yang terjadi berupa tiga gerakan translasi pada arah sumbu x , y , z yaitu masing-masing *surge* (ζ_x atau ζ_1), *sway* (ζ_y atau ζ_2), dan *heave* (ζ_z atau ζ_3). Selanjutnya bangunan laut juga bergerak rotasi terhadap ketiga sumbu tersebut, yaitu *roll* (ζ_ϕ atau ζ_4), *pitch* (ζ_θ atau ζ_5), dan *yaw* (ζ_ψ atau ζ_6).



Gambar II-4 Six Degree of Freedom
(Sumber: <http://schiw.sf.hs-wismar.de/siw/paper/heft5/beitrag10>)

Dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar II-4 adalah linier dan harmonik, maka enam persamaan diferensial gerakan kopelnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\xi}_k + B_{jk}\dot{\xi}_k + K_{jk}\xi_k] = F_j e^{i\omega t} \quad ; \quad j, k, 1, \dots, 6 \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

M_{jk} = Matriks massa dan momen inersia masa bangunan laut

A_{jk} = Matriks koefisien-koefisien masa tambah hidrodinamik

B_{jk} = Matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik

K_{jk} = Matriks koefisien-koefisien kekauan atau gaya dan momen hidrostatik

F_j = Matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (F_4, F_5, F_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $e^{i\omega t}$)

F_1 = Gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge*

F_2 = Gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway*

F_3 = Gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave*

F_4 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll*

F_5 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch*

F_6 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw*

Persamaan (3) jelas menunjukan hubungan antara gaya aksi dan reaksi. Gaya aksi direpresentasikan oleh suku pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi gelombang terhadap bangunan apung. Gaya reaksi ditunjukan oleh suku-suku disebelah kiri persamaan, yang terdiri dari gaya inersia dan gaya pengembali, yang masing-masing berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak dan simpangan atau *displacement* gerakan. Dengan menyelesaikan persamaan gerak ini didapatkan hasil karakteristik gerakan bangunan laut. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, dimana perbandingan gerakan pada mode tertentu ζ_i dengan parameter tinggi (atau amplitudo gelombang, ζ_a) diberikan sebagai fungsi frekuensi *encounter* (ω_e) dari sumber eksitasi. Informasi gerakan ini dinamakan *Respon Amplitude Operator* (RAO). (Djarmiko, 2012)

II.6. Respon Struktur

Respon pada *offshore structure* akibat gelombang regular dalam setiap frekuensi, dapat diketahui dengan menggunakan metode spectra. Nilai amplitudo pada suatu respon secara

umum hampir sama dengan amplitude gelombang. Bentuk normal suatu respon dari sistem linier tidak berbeda dengan amplitude gelombang dalam fungsi frekuensi.

Response amplitude operator (RAO) atau sering disebut sebagai *transfer function* adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai *offshore structure*. RAO disebut sebagai *transfer function* karena merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi sebagai berikut (Chakrabarti, 1987):

$$\text{Response}(\omega) = (\text{RAO})\eta(\omega) \dots\dots\dots (4)$$

Dengan:

η = amplitudo gelombang (meter)

RAO merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakarabakti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut (Suantara, 2012):

$$\text{RAO}(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots (5)$$

dengan:

$X_p(\omega)$ = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

II.7. Spektrum Gelombang

Analisis spektrum gelombang dapat menggunakan beberapa teori spektrum gelombang yang telah ada, antara lain model spektrum JOSWAP, Pierson-Moskowitz, ISSC ataupun ITTC. Pemilihan struktur gelombang didasarkan pada kondisi nyata laut yang ditinjau. Bila tidak ada maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan.

Dalam kondisi model matematis, penerapan spektrum biasanya menggunakan tunggal atau lebih parameter, misalnya *significant wave height* (H_s), periode gelombang (T), serta faktor permukaan (η)

Pada tugas akhir ini, analisa yang digunakan adalah spectrum gelombang JONSWAP yang merupakan modifikasi dari spectrum Pierson-Moskowitz (PM). Berikut adalah persamaan dari spectrum JONSWAP:

$$S(\omega) = \frac{kb^4 H_s^2 k y}{4\pi (kpTz)^4 \omega^5} \exp\left(-\frac{1}{\pi} \left(\omega \frac{kp}{kb} Tz\right)^4 \gamma^\alpha\right) \dots\dots\dots (6)$$

$$\alpha = \exp \left[\frac{-(kpTz\omega - 1)^2}{2\sigma^2} \right] \dots\dots\dots (7)$$

Dengan:

$S(\omega)$ = spektrum gelombang

γ = parameter puncak

ω = frekuensi gelombang (*wave frequency*)

σ = 0.07 untuk $\omega < \omega_p$

σ = 0.09 untuk $\omega > \omega_p$

K_b = 1.4085

K_p = $0.327 e^{-0.351\gamma} + 1.17$

K_γ = $1 - 0.285 \ln(\gamma)$

Sedang nilai dari parameter puncak (γ) dapat ditentukan menggunakan Toursethaugen (1985) sebagai berikut:

$$\gamma = \exp \left[3.4843(1 - 0.1975(0.036 - 0.0056 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}) \frac{T_p^4}{H_s^2} \right] \dots\dots\dots (8)$$

dengan:

H_s = tinggi gelombang signifikan (*significant wave height*)

T_p = periode puncak (*peak period*)

Dari spectrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang:

Tabel II-1 Amplitudo dan tinggi gelombang pada sebuah spectrum

Profil gelombang	Amplitudo	Tinggi gelombang
Gelombang rata – rata	$1.25(mo)^{1/2}$	$2.5(mo)^{1/2}$
Gelombang signifikan	$2.00(mo)^{1/2}$	$4.00(mo)^{1/2}$
Rata-rata 1/10 gelombang tertinggi	$2.55(mo)^{1/2}$	$5.00(mo)^{1/2}$
Rata-rata 1/1000 gelombang tertinggi	$3.44(mo)^{1/2}$	$6.67(mo)^{1/2}$

Untuk:

$$mo = \int_0^\infty S(\omega) d\omega \dots\dots\dots (9)$$

dengan:

mo = luasan dibawah kurva spectrum

Spektra respon didefinisikan sebagai *response energy density* pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density spectrum*. Pada sistem linier, fungsi dari RAO merupakan fungsi kuadrat. Spektra respon merupakan perkalian antara RAO kuadrat dengan

spectrum gelombang. Persamaan dari spectra respon (fungsi *wave frequency*) adalah sebagai berikut: (Chakrabarti, 1987)

$$Sr(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots (10)$$

Dengan:

Sr = spectra respon (m²-det/rad)

S(ω) = spectra gelombang (m²-det/rad)

II.8. Analisa Kekuatan *Mooring*

Analisa *mooring* perlu dilakukan untuk memprediksi respon ekstrim seperti *line tensions*, *ancor loads*, dan *vessel offset* dibawah pengaruh *design environment* dan beban eksternal lainnya. Respon – respon tersebut dibandingkan dengan nilai yang diijinkan (dari *rules*) untuk memastikan kekuatan yang cukup dari sistem untuk menahan *overloading* dan *clearance* yang cukup untuk mencegah interferensi dengan struktur lainnya (API RP 2SK, 1996).

II.8.1. Simulasi Gerak Dinamik Kapal

Terdapat 3 pendekatan yang digunakan untuk mensimulasikan gerak dinamik kapal. 3 pendekatan tersebut merupakan teknik perkiraan dan oleh karena itu kemungkinan menghasilkan hasil yang tidak konsisten dan terbatas. Pendekatan yang dipilih untuk *mooring design* harus diverifikasi dengan *model test data*, *full scale data*, atau analisa pendekatan lainnya. Akibat pengaruh beban lingkungan (angin, arus, gelombang) pada kapal dan *single point mooring*, kapal akan mengalami *large low frequency yaw motions*. Gerakan *yaw* ini secara signifikan dapat memberikan efek pada respon kapal dan sistem *mooring*, dan oleh karena itu harus dihitung untuk *time* atau *frequency domain simulations* pada *model testing*.

A. *Frequency Domain Approach*

Untuk pendekatan ini, persamaan umum dari gerakan mendeskripsikan respon kapal berpasangan dan dianalisa secara terpisah untuk *mean*, *low*, dan *wave frequency response*. *Mean response* dihitung dari *static equilibrium* antara beban lingkungan dan *restoring force* sistem *mooring*. *Wave frequency* dan *low frequency* gerak kapal dihitung dari *frequency domain approach*. *Statistical peak value*, seperti signifikan atau respon maximum kemudian dievaluasi berdasarkan distribusi respon puncak. Terakhir, respon *wave frequency* dan *low frequency* dikombinasikan untuk mendapatkan hasil kombinasi respon maximum untuk *specific storm condition*.

Untuk melakukan analisa kapal yang dipengaruhi oleh beban lingkungan (arus, angin, gelombang) menggunakan *frequency domain approach*, posisi kapal harus ditetapkan. Posisi kapal harus diposisikan selalu mengarah pada arah datangnya gelombang.

B. *Time Domain Approach*

Untuk pendekatan ini, persamaan umum dari gerakan mendeskripsikan kombinasi *mean*, *low*, dan *respon wave frequency* kapal yang diselesaikan secara *time domain*. *The forcing function* (*mean*, *low*, dan *respon wave frequency*) disebabkan oleh *wave*, *wind*, dan *thruster*. Persamaan dinamik mendeskripsikan kapal, *mooring lines*, *riser*, dan gaya *thruster* dimana semua itu dimasukkan dalam simulasi *time domain*. *Time histories* dari semua parameter sistem (displasmen kapal, *mooring line tension*, dan *anchor load*) tersedia dari simulasi, dan hasil dari *time histories* selanjutnya diproses secara statistik untuk mendapat hasil ekstrim yang diinginkan. *Simulasi time domain* harus dilakukan dalam waktu yang cukup lama untuk mendapat hasil yang stabil.

C. *Combined Time and Frequency Domain Approach*

Untuk mengurangi kompleksitas dan tujuan komputasional yang harus dilakukan dengan *full time domain simulation*, kombinasi *time and frequency domain approach* selalu dilakukan. *Time and frequency domain* untuk *mean loads*, *wave*, and *low frequency motions* dapat dikombinasikan dengan berbagai cara. Pada *typical approach*, *respon mean and low frequency* (displasmen kapal, *mooring line tension*, dan *anchor load*) disimulasikan dalam *time domain* ketika *respon wave frequency* diselesaikan secara terpisah pada *frequency domain*. Solusi *frequency domain* untuk *respon wave frequency* diproses untuk menghasilkan nilai maksimum secara statistik ataupun *time histories*, yang selanjutnya disuperposisi pada *mean and low frequency response*. (API RP 2SK, 1996)

II.8.2. Simulasi Respon *Mooring Line*

Respon sistem *mooring* terhadap gaya rata-rata yang bekerja dapat diprediksi dengan *static catenary equations*. Secara umum, respon terhadap *low frequency motion* dapat diprediksi dengan metode yang sama karena periode yang panjang dari gerakan ini. Respon gerak kapal terhadap *wave frequency* dapat diprediksi dengan 2 metode, antara lain: *quasi-static analysis* dan *dynamic analysis*.

A. *Quasi-Static Analysis*

Untuk pendekatan ini, *dynamic wave load* dihitung secara statistik dengan cara mencari keseimbangan gerak kapal yang dipengaruhi oleh gelombang. Gerak vertikal dan efek dinamik yang dipengaruhi oleh *mass*, *damping*, dan *fluid acceleration* pada *mooring line* tidak diperhatikan. *Research* yang telah dilakukan pada *mooring line dynamic* menyatakan tingkat akurasi prediksi *tension* berdasarkan metode ini dapat divariasikan secara luas sesuai dengan tipe kapal, kedalaman perairan, serta konfigurasi *line*.

B. *Dynamic Analysis*

Dynamic analysis dikalkulasi untuk waktu yang divariasikan terhadap efek yang ditimbulkan oleh *mass*, *damping*, and *fluid acceleration*. Untuk pendekatan ini, gerak *fairlead* yang divariasikan terhadap waktu dikalkulasikan dari gerak 6 derajat kebebasan kapal (*surge*, *sway*, *heave*, *pitch*, *roll*, dan *yaw*). Model dinamik digunakan untuk memprediksi respon *mooring line* terhadap gerakan *fairlead*.

Metode *quasi-static analysis* dan *dynamic analysis* dapat digunakan untuk memprediksi beban dinamik *mooring*. Pada metode *time domain*, semua efek nonlinear termasuk *line stretch*, *line geometry*, *fluid loading*, dan efek *sea bottom* dapat dimodelkan. Sedangkan untuk metode *frequency domain* menggunakan *linear principle of superposition*. (API RP 2SK, 1996)

II.9. Kondisi Analisa *Mooring*

Analisa *mooring* dapat dilakukan untuk kondisi *intact*, *damage*, atau *transient* sesuai table dibawah ini.

Tabel II-2 Rekomendasi Metode Analisa dan Kondisi

Type of <i>Mooring</i>	Analysis Method	Condition to be Analyzed
Permanent <i>Mooring</i>		
Strength Design	Dynamic	Intact/dynamic
Fatigue Design	Dynamic	Intact
Mobile <i>Mooring</i>		
Strength Design	Quasi-static or dynamic	Intact/damaged/transient
Fatigue Design	Not required	Not required

A. *Intact Condition*

Kondisi ini adalah kondisi ketika semua *mooring lines* dalam kondisi utuh

B. *Damage Condition*

Kondisi ini adalah kondisi ketika kapal berosilasi disekitar posisi baru setelah salah satu *mooring line* atau *thruster system* mengalami kegagalan. (API RP 2SK, 1996)

II.9.1. Rekomendasi Metode Analisa dan Kondisi

Metode analisa yang digunakan serta kondisi yang dianalisa untuk beberapa desain didefinisikan sebagai berikut:

A. *Vessel Offset*

Vessel offset terdiri atas beberapa definisi yang diterapkan untuk berbagai tujuan pada kapal, antara lain:

- *Mean Offset*

Mean offset didefinisikan sebagai diplasmen kapal yang disebabkan oleh kombinasi komponen *steady* dari *wind*, *wave*, *curent*, serta gaya eksternal lainnya.

- *Maximum Offset*

Ketika metode *frequency domain approach* digunakan untuk simulasi gerak dinamik kapal, *maximum offset* didefinisikan sebagai *mean offset* dijumlahkan dengan maksimum diplasmen yang dikombinasikan terhadap *wave frequency* dan *low frequency* gerakan kapal. *Maximum offset* dapat ditentukan dengan cara berikut ini:

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lf\ max} + S_{wfsig} \dots\dots\dots(11)$$

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana:

S_{mean} = *Mean vessel offset*

S_{max} = *Maximum vessel offset*

S_{wfmax} = *Maximum wave frequency motion*

S_{wfsig} = *Significant wave frequency motion*

S_{lfmax} = *Maximum low frequency motion*

S_{lfsig} = *Significant low frequency motion*

Kombinasi *offset* dari derajat kebebasan yang berbeda (contoh: *surge* dan *sway*) harus didefinisikan sebagai penjumlahan vektor individu derajat kebebasan. Alternatif untuk pendekatan ini adalah *time domain approach* dan kombinasi *time and frequency doamin approach* yang mencakup proses statistik simulasi *time history* untuk mendapatkan *extreme offset* yang diinginkan.

B. Line Tension

Perhitungan *line tension* untuk analisa *mooring* tedapat 2 jenis, antara lain:

- *Mean Tension*

Mean tension didefinisikan sebagai *line tension* yang sesuai dengan *mean offset* kapal.

- *Maximum Tension*

Ketika *frequency* digunakan untuk mensimulasikan gerak dinamik kapal, *maximum tension* adalah *mean tension* dijumlahkan dengan kombinasi *tension* antara *wave frequency* dan *low frequency*. Maximum tension dapat ditentukan dengan prosedur berikut.

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig} \dots \dots \dots (13)$$

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmfmax} + T_{lfsig} \dots \dots \dots (14)$$

dimana:

$$T_{max} = \text{Maximum Tension}$$

$$T_{mean} = \text{Mean Tension}$$

$$T_{wfmfmax} = \text{Maximum wave frequency tension}$$

$$T_{wfsig} = \text{Significant wave frequency tension}$$

$$T_{lfmax} = \text{Maximum low frequency tension}$$

$$T_{lfsig} = \text{Significant low frequency tension}$$

Persamaan diatas digunakan hanya untuk perhitungan kondisi *intact* dan *damage*. Alternatif untuk pendekatan ini adalah *time domain approach* dan kombinasi *time and frequency doamin approach* yang mencakup proses statistik simulasi *time history* untuk mendapatkan *extreme offset* yang diinginkan. (API RP 2SK, 1996)

C. Breaking Strength

Breaking strength merupakan batasan tegangan maksimum dari *mooring chain* yang tidak boleh dilampaui, artinya *mooring chain* tidak boleh memiliki tegangan lebih dari *breaking strength*. (Suantara, 2012)

$$BScor = CBS \left[\frac{D_{nom} - 2\Delta t T_{cor}}{D_{nom}} \right] \dots\dots\dots(15)$$

Dimana:

BS = *breaking strength*

CBS = *catalog breaking strength*

D = *chain diameter*

Δt = *corrosion allowance*

T = *service life time*

Batasan tension dan safety factor ununtuk kondisi analisa *mooring* adalah sebagai berikut (ABS Rules for building and classing single point *mooring*):

Tabel II-3 Batas tension dan safety factor kondisi ULS ALS

Condition	Safety factor	
	Intact	Damage
Design storm condition	2.5	2
Design operating condition	3	2

II.10. Kekuatan dan kelelahan

Kelelahan (*fatigue*) adalah akumulasi kerusakan material yang disebabkan oleh beban siklik. Banyak bagian dari struktur yang harus bertahan dari tegangan yang menyimpannya selama masa operasinya. Contoh dari beberapa jenis ini pada *marine* struktur adalah tegangan yang berhubungan dengan beban akibat gelombang. Umur kelelahan suatu detail struktur berhubungan secara langsung dengan proses kelelahan, yang dikelompokkan menjadi 3 tahap sebagai berikut:

- *Initial crack*

Hal ini bergantung pada karakteristik material. Untuk kondisi tertentu cacat las selalu muncul di dalam *base metal* atau *filler metal* maupun dipermukaan las. Cacat las ini dapat memicu retak atau merambat, dan kebanyakan muncul dari permukaan las.

- *Crack propagation*

Dibandingkan dengan *initial crack*, tahap perambatan retak ini lebih mudah dipahami dan ada teori yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk memodelkan pertumbuhan retak ini yaitu mekanika kepecahan. Parameter utama yang mengatur perambatan retak ini adalah rentang tegangan pada detail struktur yang dianalisis. Disamping itu, bentuk geometri dari las-lasan serta ukuran dari *initial crack* berdampak besar pada umur kelelahan dari detail struktur. Pada struktur las-lasan, *fatigue cracks* hampir selalu berawal dari cacat las dan periode perambatan retaknya dihitung untuk lebih dari 90% dari umur kelelahan.

- *Final fracture failure*

Kegagalan karena kepecahan suatu detail struktur akan terjadi ketika ukuran retak merambat hingga ke ukuran yang kritis. Kepecahan final bergantung pada beberapa parameter seperti tingkat tegangan, ukuran retak dan juga kekerasan material.

Terdapat 2 jenis *fatigue* yang dikenal dengan istilah: *high-cycle (low stresses) fatigue* dan *low cycle (high stress) fatigue*. Suatu kegagalan disebut sebagai *low-cycle fatigue* jika jumlah kejadian untuk menuju kegagalan struktur adalah kurang dari 10^4 . Sedangkan jumlah kejadian dari *high-cycle fatigue* biasanya mencapai jutaan kali kejadian, bahkan lebih. Untuk struktur laut, hal ini telah mendapat perhatian khusus. (Saputra, 2014)

II.10.1. Prosedur Perhitungan Kelelahan

Secara umum, ada 2 metode yang dapat digunakan dalam analisa kelelahan. Yaitu pendekatan kurva S-N (*S-N Curve*) yang dibuat berdasarkan tes kelelahan dan pendekatan mekanika kepecahan. Untuk tujuan desain kelelahan, pendekatan kurva S-N lebih banyak digunakan dan dianggap sebagai metode yang paling cocok. Sedangkan metode mekanika kepecahan digunakan untuk menentukan ukuran cacat yang dapat diterima, menaksir perambatan retak kelelahan, merencanakan inspeksi dan strategi untuk memperbaikinya. Untuk menghitung kerusakan yang ditimbulkan oleh kelelahan, (Wirsching, 1983) mengklasifikasikan beberapa metode dasar, yaitu:

- Metode deterministik

Metode ini digunakan oleh *Lyod's Register*. Pada metode ini *fatigue damage* dihitung dengan menggunakan *wave exceedance diagram*.

- Metode Distribusi gelombang
Metode ini mengasumsikan bahwa tegangan yang terjadi proporsional terhadap tinggi gelombang dan gelombang dideskripsikan dengan distribusi long normal, Weibull, dan lain lain.
- Metode Distribusi Rentang Tegangan
Metode ini secara teoritis memodelkan rentang tegangan sebagai distribusi Weibull yang biasanya diperoleh dari metode spectral, metode distribusi gelombang dan lain lain
- Metode Spektral
Metode ini biasa disebut dengan metode probabilitas. Pada metode ini *fatigue damage* diperhitungkan dari tiap *sea state* dalam *scatter diagram* dan tegangan dianggap sebagai suatu proses acak yang seimbang.
- Metode *Equivalent Weibull*
Metode ini biasa digunakan oleh DNV, yang menggunakan analisa spectral untuk kemudian mendapatkan distribusi rentang tegangan kurun waktu panjang yang sekuivalen dengan distribsui Weibull. (Saputra, 2014)

II.10.2. Desain Kurva S-N

Untuk analisis kelelahan berdasarkan pendekatan tegangan nominal, sambungan lasan dibagi menjadi beberapa klas. Tiap klas memiliki desain kurva S-N masing masing. Klarifikasi kurva S-N bergantung pada geometri detil sambungan las, arah dari fluktuasi tegangan yang bersifat relatif bergantung pada detil, dan metode fabrikasi dan inspeksi dari detil sambungan tersebut. Tipe sambungan termasuk pelat dengan pelat, pipa dengan pelat, dan sambungan pipa dengan pipa yang memilki klasifikasi tipe alphabet, dimana tiap tipe berhubungan dengan kurva S-N yang dibuat berdasarkan uji coba kelelahan. Kurva S-N didesain berdasar pada kurva rata-rata-minus-dua-standart-deviasi untuk data uji coba yang relevan. Basic desain dari kurva S-N dinyatakan sebagai berikut:

$$\log N = \log K - m \log S \dots\dots\dots(16)$$

Dimana:

S = rentang tegangan

N = nilai prediksi dari *cycle* untuk gagal pada rentang tegangan S

m = *slope inverse negative* dari kurva S-N

$\log K$ = intersep dari $\log N$ -axis pada kurva S-N = $\log a-2std$

a dan td adalah konstan berhubungan dengan rata-rata kurva S-N dan standar deviasi dari $\log N$.

Menurut *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker (2010)*, kekuatan sambungan baja lasan sehubungan dengan kekuatan kelelahan dicirikan dengan kurva S-N, jumlah siklus beban amplitudo konstan untuk kegagalan. Untuk detail struktur kapal, kurva S-N digambarkan dengan:

$$S_m.N = K_2 \dots\dots\dots (17)$$

dimana:

S = rentang tegangan [N/mm]

N = perkiraan jumlah siklus untuk kegagalan dibawah rentang tegangan S

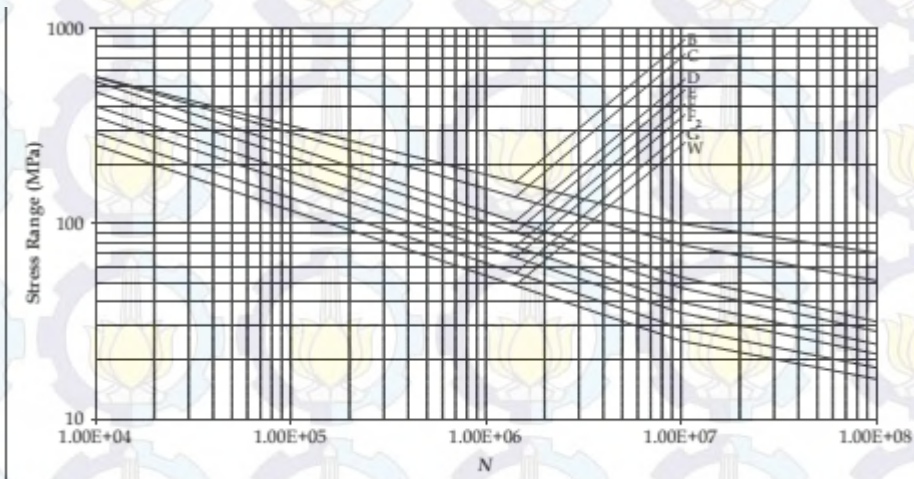
m = konstanta yang bergantung pada jenis material dan las-lasan, jenis pembebanan, konfigurasi geometris dan kondisi lingkungan (udara atau air laut)

K_2 = konstanta yang bergantung pada jenis material dan las-lasan, jenis pembebanan, konfigurasi geometris dan kondisi lingkungan

Nilai K_2 dan m dapat dilihat pada Tabel dibawah ini. Nilai K_2 dan m berbeda untuk tiap jenis sambungan. (Saputra, 2014)

Tabel II-4 Tipe sambungan (CSR for Double Hull Oil Tanker)
(Sumber: Common Structure Rules for Double Hull Oil Tankers, 2012)

Class	K_1	K_1		m	Standard Deviation		K_2	f_q (N/mm ²)
		\log_{10}	\log_e		\log_{10}	\log_e		
B	2.343E+15	15.3697	35.3900	4.0	0.1821	0.4194	1.01E+15	100.20
C	1.082E+14	14.0342	32.3153	3.5	0.2041	0.4700	4.23E+13	78.20
D	3.988E+12	12.6007	29.0144	3.0	0.2095	0.4824	1.52E+12	53.40
E	3.289E+12	12.5169	28.8216	3.0	0.2509	0.5777	1.04E+12	47.00
F	1.726E+12	12.2370	28.1770	3.0	0.2183	0.5027	6.3E+11	39.80
F ₂	1.231E+12	12.0900	27.8387	3.0	0.2279	0.5248	4.3E+11	35.00
G	5.66E+11	11.7525	27.0614	3.0	0.1793	0.4129	2.5E+11	29.20
W	3.68E+11	11.5662	26.6324	3.0	0.1846	0.4251	1.6E+11	25.20



Grafik II-1 Kurva S-N (CSR for Double Hull Oil Tanker)
(Sumber: Common Structure Rules for Double Hull Oil Tankers, 2012)

II.10.3. *Fatigue Damage Calculation*

Fatigue assessment suatu struktur tergantung pada aplikasi damage komulatif rules Palmgren-Miner sesuai dengan rumus dibawah ini. Ketika ratio komulatif *fatigue damage* (DM) lebih besar dari 1, maka kapabilitas *fatigue* suatu struktur tidak *acceptable*. DM diperoleh dengan rumus sebagai berikut (Common Structure Rules for Double Hull Oil Tankers, 2012):

$$DM = \sum_{i=1}^{i=N_{tot}} \frac{n_i}{N_i} \dots\dots\dots(18)$$

Dimana:

n_i = *number of cycles of stress range S_i*

N_i = *number of cycles to failure at stress range S_i*

N_{tot} = *total number of stress range blocks*

Terdapat 3 tahap perhitungan untuk *assessment fatigues strength* untuk struktur las lasan yang terdiri atas:

- Perhitungan *stress range*
- Pemilihan design S-N Curve
- Perhitungan *cumulative damage*

Ratio *cumulative fatigue damage* (DM) bernilai kurang dari 1 untuk *design life* kapal, dimana nilai *design life* tidak boleh kurang dari 25 tahun. Nilai *cumulative damage* diperoleh dari persamaan dibawah ini

$$DM = \sum_{i=1}^2 DM_i \dots\dots\dots(19)$$

Dimana:

DM_i = *cumulative damage ration for applicable loading*

$i = 1$ for full load condition

$= 2$ for normal ballast condition

Dengan asumsi *stress range* jangka panjang untuk dustribusi kemungkinan Weibull, *cumulative fatigue damage* (DM_i) untuk masing-masing kondisi yang relevan dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$DM_i = \frac{\alpha_i N_L}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_i \Gamma(1 + \frac{m}{\xi}) \dots\dots\dots(20)$$

Dimana:

N_L *number of cycles for expected design life*

$$= \frac{f_0 U}{4 \log L}$$

Nilai N_L secara umum diantara 0.6×10^8 dan 0.8×10^8 cycles untuk design life selama 25 tahun

f_0 0.85

U *Design life in seconds*

0.788×10^9 untuk desain selama 25 tahun

L Length

m diambil dari table II-4

K_2 diambil dari table II-4

α_i Proportion of ship's life

$= 0.5$ for full load and ballast condition

S_{Ri} Stress range at the representative probability level of 10^{-4} N/mm

N_R 10000

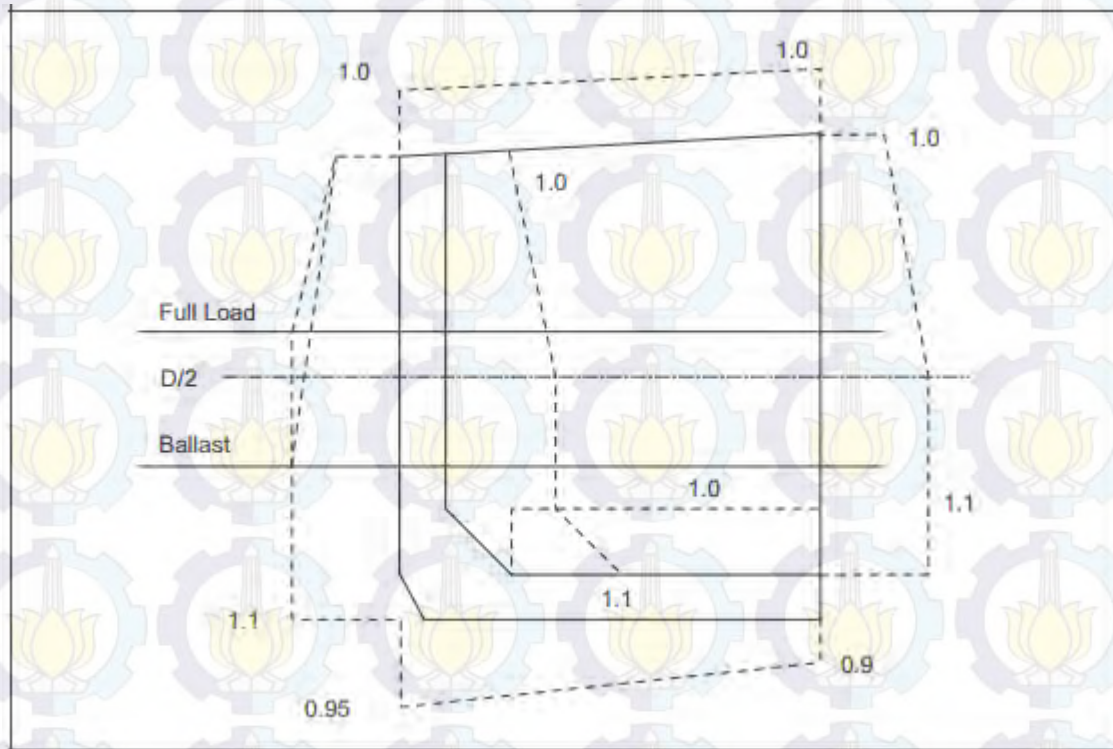
$$\xi = f_{Weibull} (1.1 - 0.35 \frac{L - 100}{300})$$

$f_{Weibull}$ Area dependent modification factor, terdapat pada table dan gambar berikut:

Tabel II-5 Distribution of weibull factor

(Sumber: Common Structure Rules for Double Hull Oil Tankers, 2012)

Plating Area	$f_{Weibull}$ (see note)
Bottom	0.9 at centreline and 0.95 at side
Side and bilge	1.1 at up to draught T_{LC} and 1.0 at deck
Deck	1.0
Inner bottom	1.0
Inner Hull Longitudinal Bulkhead	1.1 up to D/2 and 1.0 at deck
Inner Longitudinal Bulkhead	1.1 up to D/2 and 1.0 at deck
Centreline Longitudinal Bulkhead	1.1 up to D/2 and 1.0 at deck
Note: Intermediate values to be linearly interpolated	



Gambar II-5 Distribution of weibull factor

(Sumber: Common Structure Rules for Double Hull Oil Tankers, 2012)

Cumulative fatigue ratio (DM) dapat dikonversi untuk perhitungan *fatigue life* dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$Fatigue\ life = \frac{Design\ life}{DM} \text{ years} \dots\dots\dots(21)$$

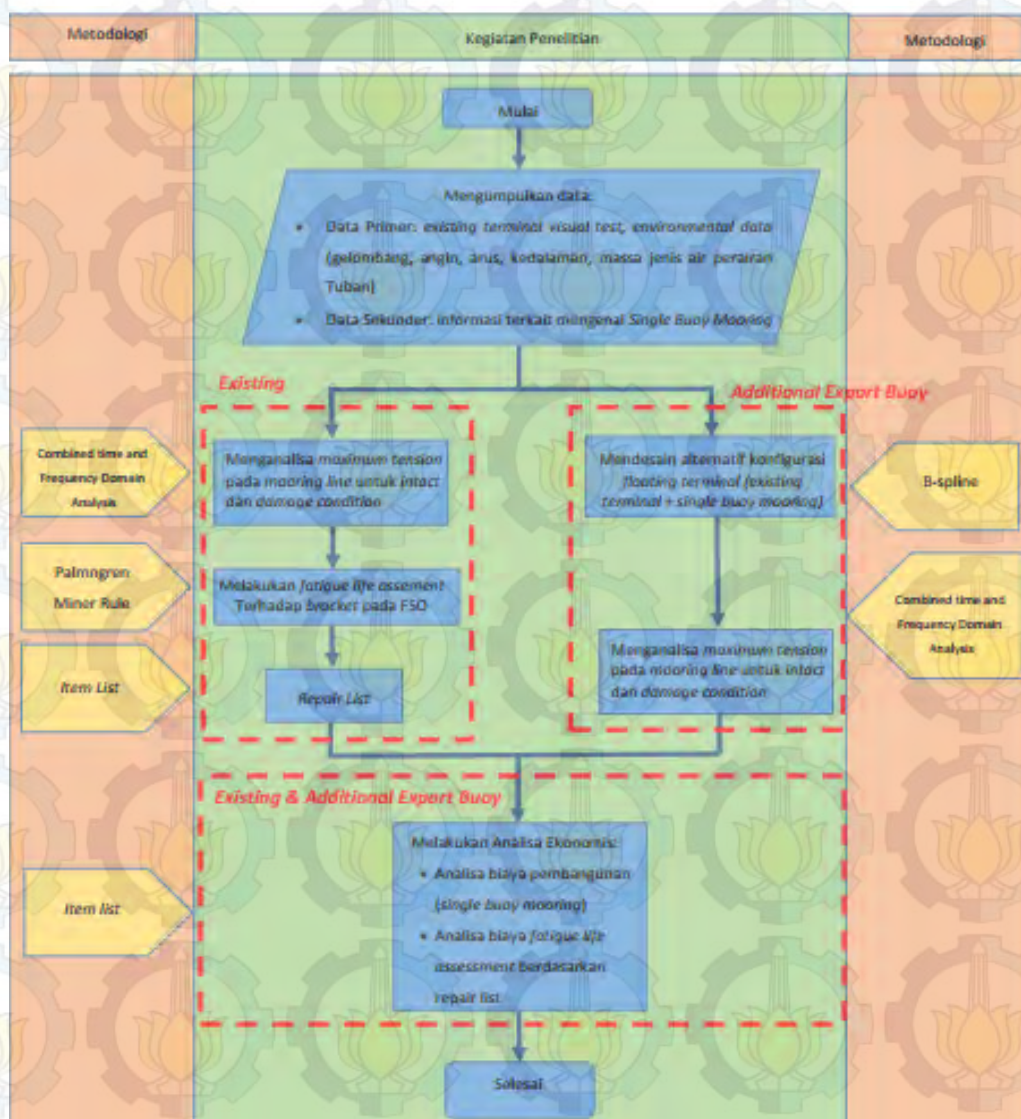
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

III.1. Pendahuluan

Seperti yang telah disinggung pada Bab II subbab II.1 bahwa teori yang dipaparkan pada Bab tersebut akan menjadi dasar untuk menyusun metodologi penelitian yang akan dijelaskan lebih detail pada Bab ini. Adapun Bab III menjelaskan secara garis besar gambaran umum mengenai metodologi yang akan digunakan pada penelitian ini.

III.2. Flow Chart



Gambar III-1 Flow chart penelitian

III.2.1. Mengumpulkan Data

Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh data primer dan data sekunder yang berkaitan dengan kondisi atau permasalahan yang terjadi pada kasus yang akan dikaji dalam penelitian ini. Data primer meliputi: *existing terminal (FSO) ultrasonic test* dan *environmental data* (gelombang angin, arus, kedalaman, serta masa jenis perairan Tuban). Sedangkan data sekunder meliputi: informasi serta teori yang terkait dengan *single buoy mooring*. Data-data pendukung dapat bersumber dari buku, jurnal, maupun penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mempunyai topik yang sama dengan bidang penelitian ini.

III.2.2. Menganalisa *Maximum Tension (Existing Terminal)*

Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui nilai *maximum tension* dari *chain* pada *existing terminal*. Untuk analisa *tension* pada *existing terminal* dilakukan dengan *chain properties* yang telah ada dengan menambah analisa pengaruh korosi untuk masa operasi 10 tahun kedepan.

III.2.3. Melakukan *Fatigue Life Assesment*

Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui *fatigue life* FSO pada *existing terminal*. *Fatigue life assesment* dilakukan dengan menghitung *fatigue life* dari *bracket* pada bagian *midship* FSO. Perhitungan *fatigue life* dilakukan dengan metode Palmgren Milner Rule dengan rumus pendekatan yang diambil dari *Common Structure Rule* dan *American Bureau Society (ABS) Rule*.

III.2.4. *Repair List*

Kegiatan ini bertujuan untuk menganalisa biaya *repair* setelah dilakukannya *fatigue assesment* pada *bracket* FSO serta analisa hasil *ultrasonic test* untuk ketebalan pelat pada FSO. *Bracket* dan pelat yang umurnya tidak dapat bertahan untuk masa operasional selama 10 tahun kedepan akan didaftar, yang selanjutnya akan di rekap untuk perhitungan biaya *repair*.

III.2.5. Mendesain Alternatif Konfigurasi *Floating Terminal*

Kegiatan ini dilakukan dengan mendesain konfigurasi peletakan *single buoy mooring* baru sebagai alternatif konfigurasi *floating terminal*. Kegiatan difokuskan pada penempatan posisi *Single Buoy Mooring (SBM)*. Sedangkan dimensi SBM serta *chain properties* alternatif konfigurasi *floating terminal* menggunakan dimensi SBM serta *chain properties existing terminal*.

III.2.6. Menganalisa *Maximum Tension* (Alternatif Konfigurasi *Floating Terminal*)

Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui nilai maximum tension dari *chain* pada alternatif konfigurasi *floating terminal*. Untuk analisa tension pada alternatif konfigurasi *floating terminal* menggunakan *chain properties existing terminal* serta menambah analisa pengaruh korosi untuk masa operasi 10 tahun kedepan.

III.2.7. Melakukan Analisa Ekonomi

Kegiatan ini dilakukan dengan menghitung biaya pembangunan *single buoy mooring* (SBM) baru, biaya repair *bracket*, serta biaya *replating*

III.3. Data Struktur

Dalam penelitian ini dibutuhkan data struktur dari objek-objek yang akan diteliti. Data dari objek yang akan diteliti itu terdiri atas: data utama FSO, data utama *single buoy mooring* (SBM) dan *chain*, data lingkungan daerah operasional FSO dan *single buoy mooring* (SBM), serta data utama *shuttle tanker*.

A. Data FSO (*Floating Storage Offloading*)

Data utama FSO yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel III-1 Data utama FSO

No	Description	Quantity	Unit
1	Length of Overall (LOA)	183.6	m
2	Length Between Perpendicular (LBP)	178.6	m
3	Breadth Moulded	40.6	m
4	Depth Moulded	25.6	m
5	Full Load Draught	15	m
6	Ballast Draught	9	m
7	Full Load displacement	106000	tons
8	Ballast Displacemetn	64000	tons

B. Data *Single Buoy Mooring* (SBM)

Data utama *Single Buoy Mooring* (SBM) yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel III-2 Data utama *Single Buoy Mooring*

No	Description	Quantity	Unit
1	Outer Diameter	10	m
2	Inner Well Diameter	3.73	m

3	Height of <i>Buoy</i>	4.35	tons
4	Weight of <i>Buoy</i>	143	tons
5	Operating Draught	3.1	m
6	Displacement at Operating Draught	213.6	tons

C. Data *Mooring Chain dan Hawser*

Data utama *mooring chain dan hawser* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel III-3 Data utama *mooring chain*

Chain Grade	Install condition				After corrosion (10 years)			
	Nominal Diameter	Break Load	Break Load	Weight	Nominal Diameter	Break Load	Break Load	Weight
	(mm)	(tons)	kN	(kg/m)	(mm)	(tons)	kN	(kg/m)
R4	76	611.72	6000.973	126.49	71.54	547.33	5369.292	58.58

Tabel III-4 Data utama *hawser*

Hawser Type	Install condition			
	Nominal Diameter	Break Load	Break Load	Weight
	(mm)	(tonnes)	kN	(kg/m)
Nylon	169.9	599	5876.19	12

Nilai Allowable tension setelah terjadi korosi diperoleh dari persamaan:

$$BScor = CBS \left[\frac{Dnom - 2\Delta t Tcor}{Dnom} \right] \dots\dots\dots (22)$$

Dimana:

CBS = *cataloge breaking strength* (kN)

Dnom = *chain diameter* (mm)

Δt = *corrosion allowence* (0.4mm/years) (DNV-OS-301)

Tcor = *service time* (years)

D. Data Lingkungan

Data utama lingkungan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

- Data lingkungan *design storm condition* (100 years return)

Tabel III-5 Data lingkungan design storm conditio (100 years return)

No.	Description	Quantity	Unit
1	Significant Wave Height	4.6	m
2	Wave Peak Period	9	s
3	Wind Speed	57	knots
4	Current Velocity	2.33	knots

- Data lingkungan *operation condition* (10 years return)

Tabel III-6 Data lingkungan operation condition (10 years return)

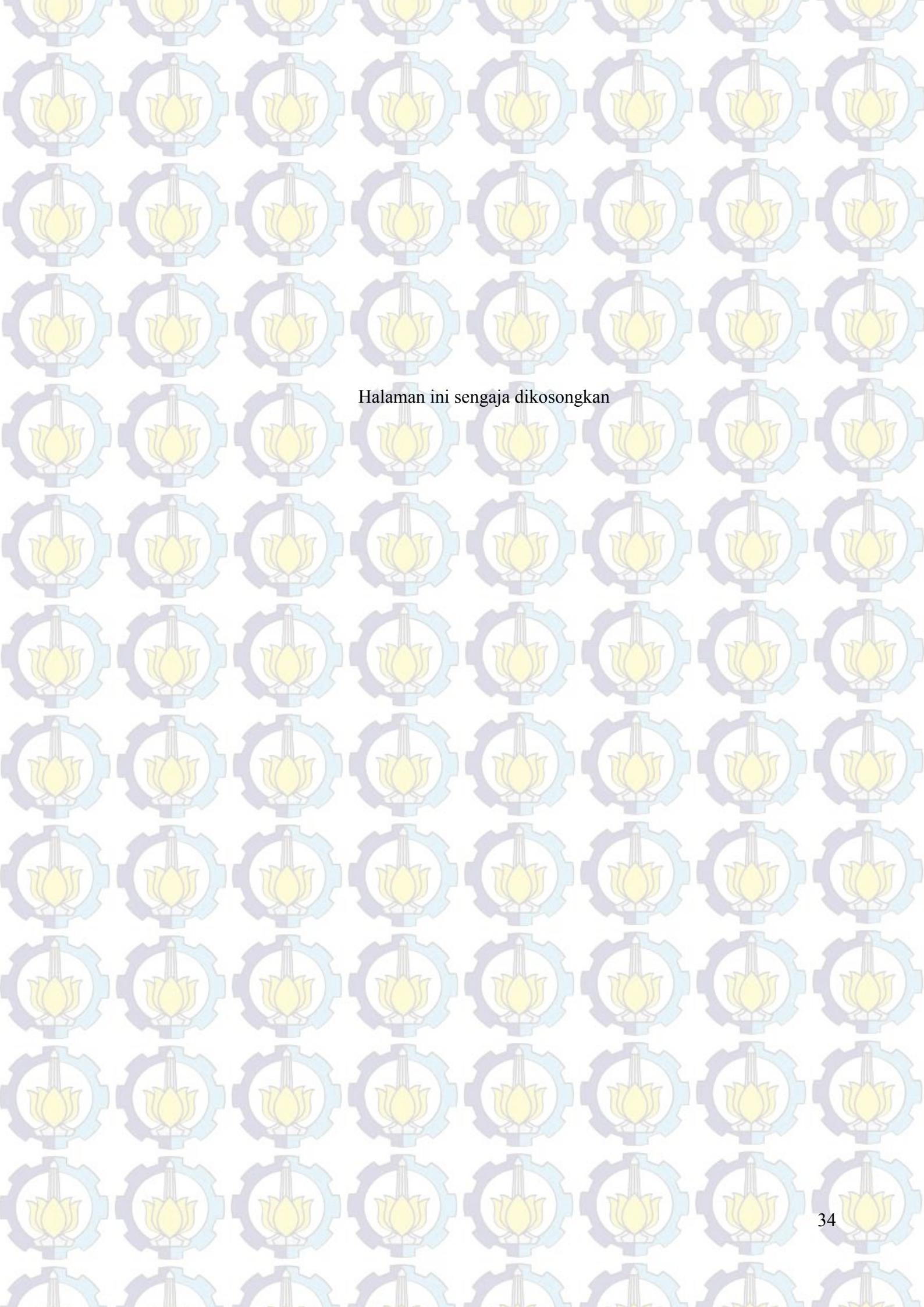
No.	Description	Quantity	Unit
1	Significant Wave Height	3.6	m
2	Wave Peak Period	8.6	s
3	Wind Speed	57	knots
4	Current Velocity	2.33	knots

E. Data Shuttle Tanker

Data utama *shuttle tanker* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel III-7 Data utama shuttle tanker

No.	Description	Quantity	Unit
1	Length of Overall (LOA)	243.58	m
2	Length Between Perpendicular (LBP)	233.05	m
3	Breadth Moulded	42	m
4	Depth Moulded	18	m
5	Full Load Draught	14.77	m
6	Ballast Draught	9	m
7	Full Load displacement	122142	tonnes
8	Ballast Displacemetn	77981	tonnes



Halaman ini sengaja dikosongkan

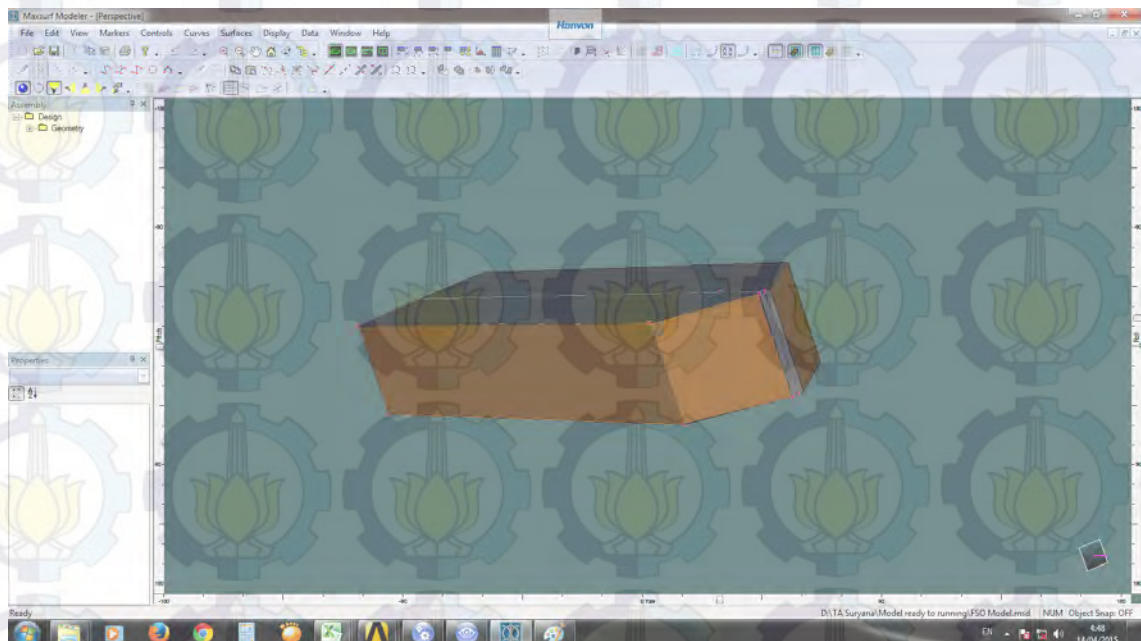
BAB IV PEMBUATAN MODEL

IV.1. Pendahuluan

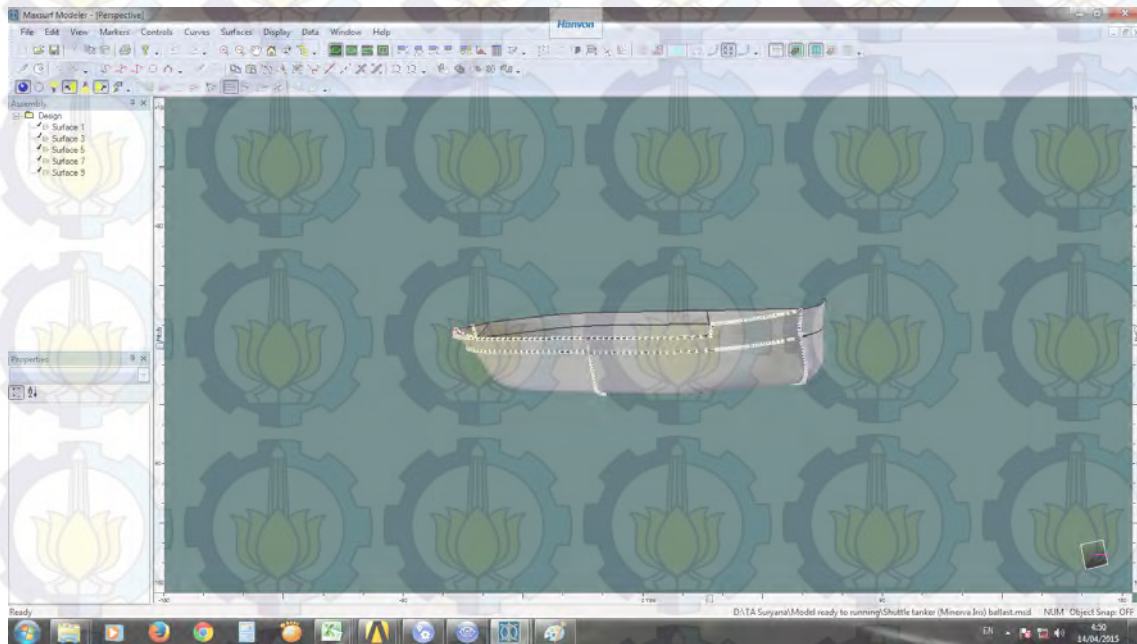
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pembuatan model pada berbagai *software* guna mendukung proses analisa dalam penelitian ini. Pembuatan model pada penelitian ini terdiri atas model FSO, *shuttle tanker*, serta *single buoy mooring (SBM)*. Pembuatan model dibuat pada beberapa *software* antara lain: maxsurf, ANSYS Aqwa, serta Orcaflex.

IV.2. Model Pada Maxsurf Pro

Pemodelan FSO dan *shuttle tanker* dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf Pro* bertujuan untuk menghasilkan bentuk badan kapal. Data yang diperlukan untuk pembuatan model adalah data ukuran utama kapal. Pembuatan model FSO dan *shuttle tanker* hanya berdasarkan data ukuran utama (tanpa *lines plan*). Pada penelitian ini FSO dimodelkan secara manual, sedangkan *shuttle tanker* menggunakan *sample design* dari *software Maxsurf Pro*.



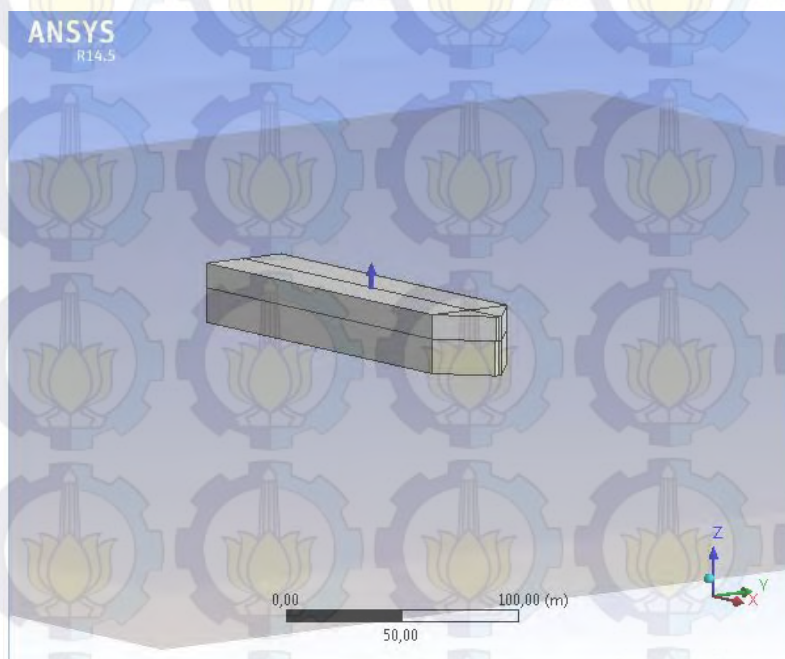
Gambar IV-1 Model FSO di Maxsurf Pro



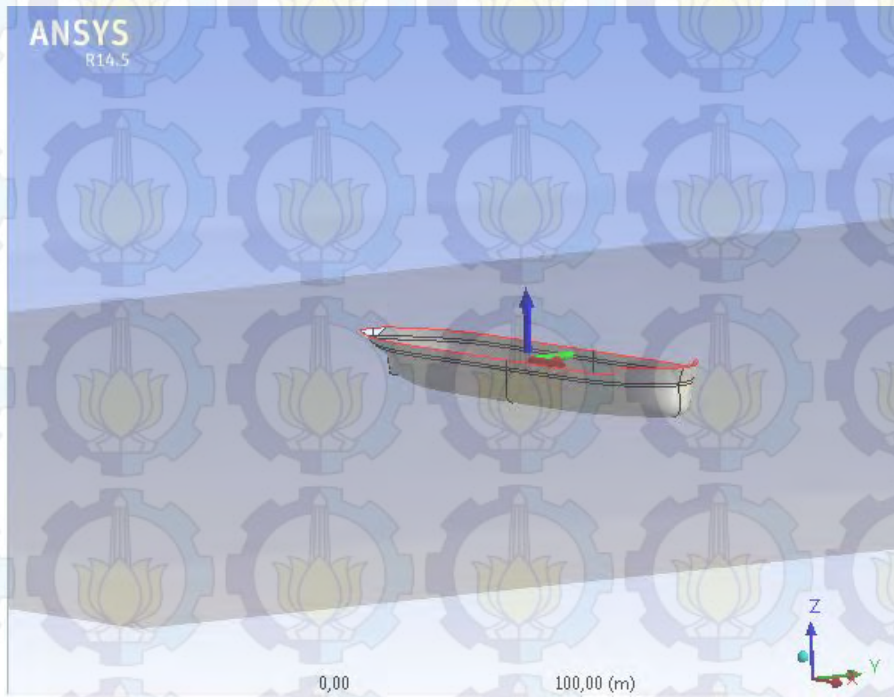
Gambar IV-2 Model shuttle tanker pada Maxsurf Pro

IV.3. Model Pada ANSYS Aqwa

Pembuatan model pada ANSYS Aqwa tidak perlu dilakukan karena dapat menggunakan *output model* dari software Maxsurf Pro. Analisa pada software ANSYS Aqwa bertujuan untuk memperoleh karakteristik *motion* (RAO), *wave drift*, *damping*, serta *added mass*. Analisa dilakukan pada kondisi kapal terapung bebas untuk kondisi *full load* dan kondisi *ballast*.



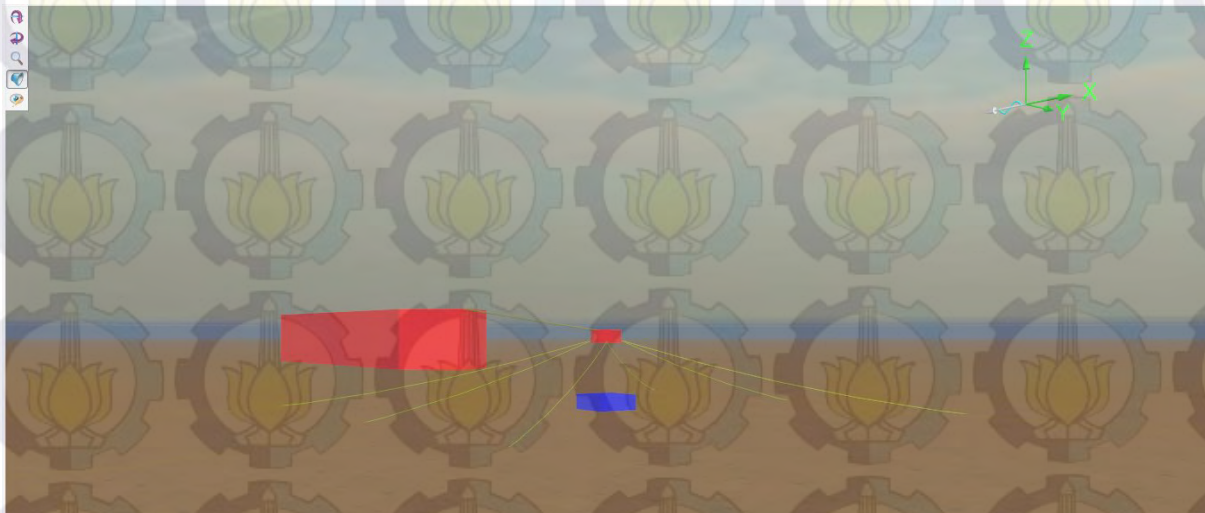
Gambar IV-3 Model FSO pada ANSYS Aqwa



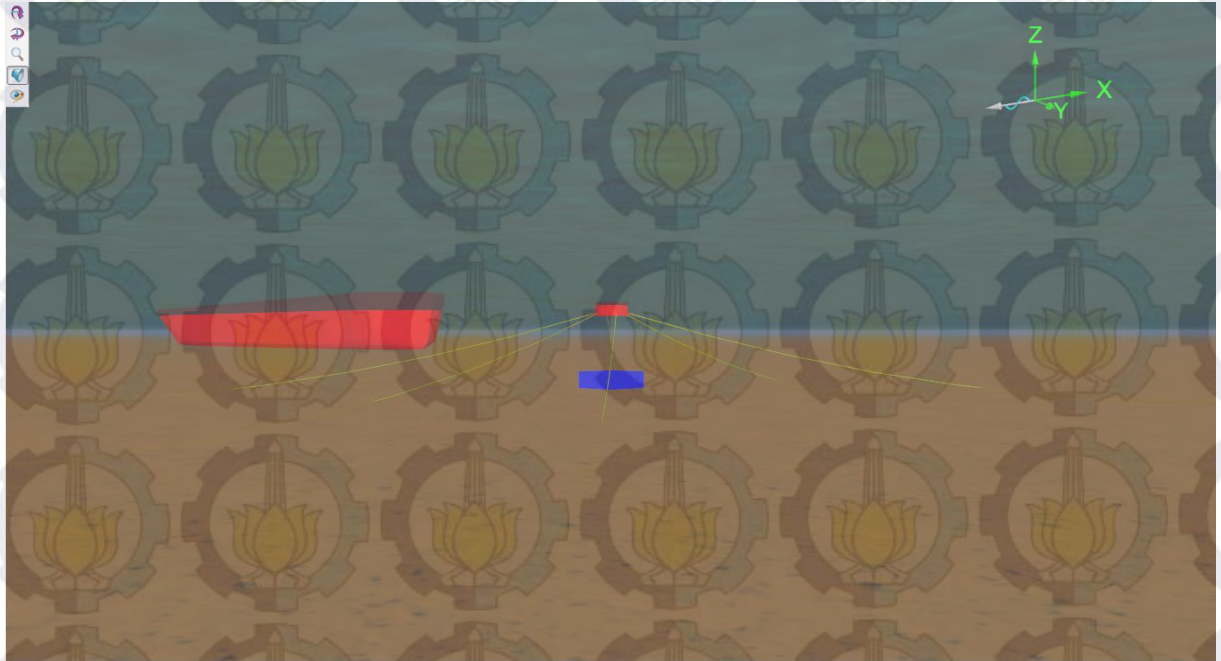
Gambar IV-4 Model shuttle tanker pada ANSYS Aqwa

IV.4. Model Pada Orcaflex

Orcaflex merupakan program *marine dynamic* yang dikembangkan oleh Orcina untuk analisa statis dan dinamis sistem *offshore* yang meliputi: semua tipe *marine riser* (*rigid* dan *flexible*), *global analysis*, *moorings*, serta *installation and towed system*. Pembuatan model pada orcaflex berdasarkan data ukuran utama dari FSO dan *single buoy mooring* (SBM) serta parameter yang merupakan *output* dari analisa menggunakan *software ANSYS Aqwa* (karakteristik *motion* (RAO), *wave drift*, *damping*, serta *added mass*.)



Gambar IV-5 Model FSO dan SBM pada Orcaflex



Gambar IV-6 Model shuttle *tanker* dan SBM pada Orcaflex

BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

V.1. Pendahuluan

Pada bab ini akan dilakukan validasi model yang telah dibuat dengan data asli, konvergensi perhitungan RAO untuk FSO dan *shuttle tanker*, perhitungan *line tension* untuk kondisi *intact* dan *damage*, perhitungan *fatigue assessment* FSO, perhitungan biaya reparasi FSO akibat *fatigue assessment*, perhitungan biaya *replating* dan perhitungan biaya pembangunan *single buoy mooring* baru.

V.2. Validasi

Dalam analisa menggunakan *software*, model yang digunakan harus memiliki tingkat akurasi yang tinggi agar sesuai dengan bentuk aslinya. Toleransi kesalahan yang digunakan pada penelitian ini sebesar 1%, sehingga diharapkan model yang dibuat dapat mendeskripsikan karakteristik objek yang diteliti. Tabel dibawah ini merupakan hasil validasi model FSO serta *shuttle tanker* pada model untuk *software* Maxsurf dan ANSYS Aqwa.

Tabel V-1 Validasi FSO

Parameter	Data	Maxsurf Model	Aqwa Model	Selisih (%)	
	(tons)	(tons)	(tons)	Maxsurf	Aqwa
Full load displacement	106000	105749	105788.2	0.237	0.200
Ballast displacement	64000	63449	63470.110	0.861	0.828

Tabel V-2 Validasi *shuttle tanker*

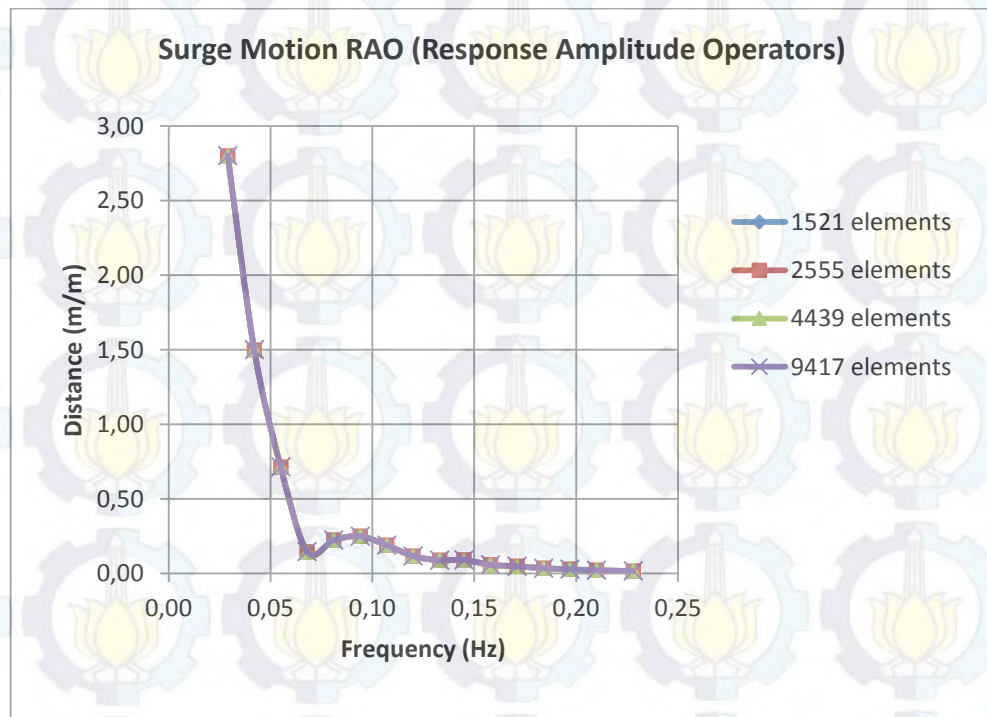
Parameter	Data	Maxsurf Model	Aqwa Model	Selisih (%)	
	(ton)	(ton)	(ton)	Maxsurf	Aqwa
Full load displacement	122142	122787	122636.207	0.528	0.405
Ballast displacement	77981	78081	78139.209	0.128	0.203

Dari hasil yang diperoleh selisih nilai terbesar adalah model FSO untuk kondisi *ballast*, namun nilai tersebut masih kurang dari batas toleransi kesalahan sebesar 1% sehingga model dapat disimpulkan telah valid.

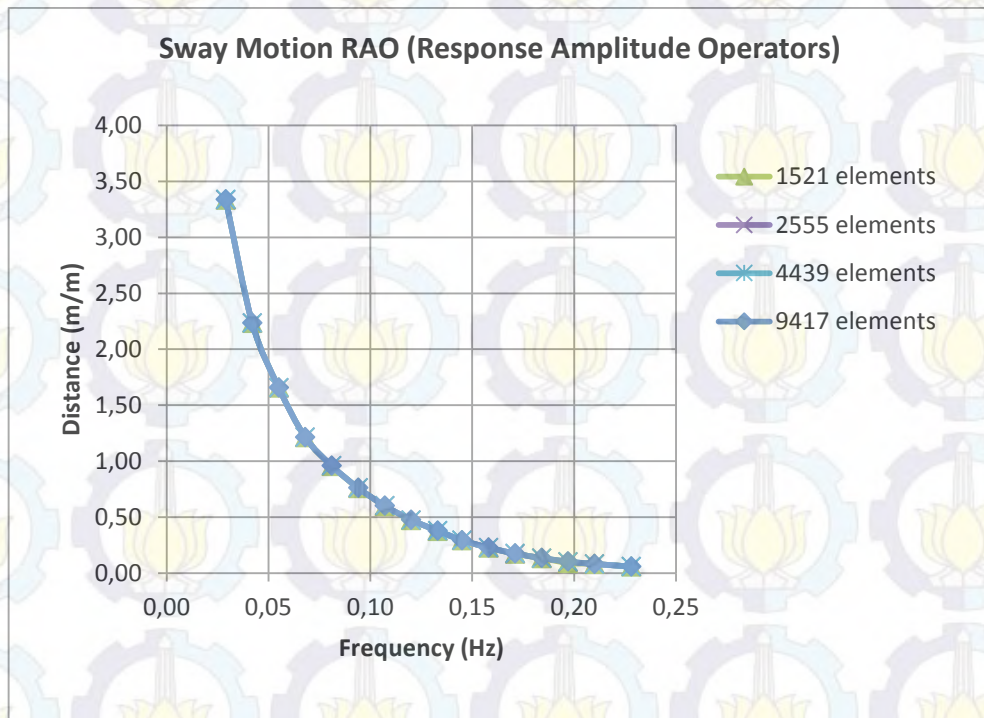
V.3. Konvergensi

Dalam analisa menggunakan *software* ANSYS Aqwa, model harus dibagi menjadi beberapa bagian *element (meshing)*. Hal ini karena metode yang digunakan pada ANSYS Aqwa adalah *finite element method*. Semakin kecil elemen maka hasil dari perhitungan akan semakin akurat, namun *running software* tersebut akan membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa untuk menentukan jumlah elemen yang akan digunakan dalam perhitungan dengan teori konvergensi hasil. Pada penelitian ini analisa variasi jumlah elemen dilakukan pada 6 derajat kebebasan kapal. Analisa konvergensi dilakukan pada FSO dan *shuttle tanker* hanya untuk kondisi *full load*

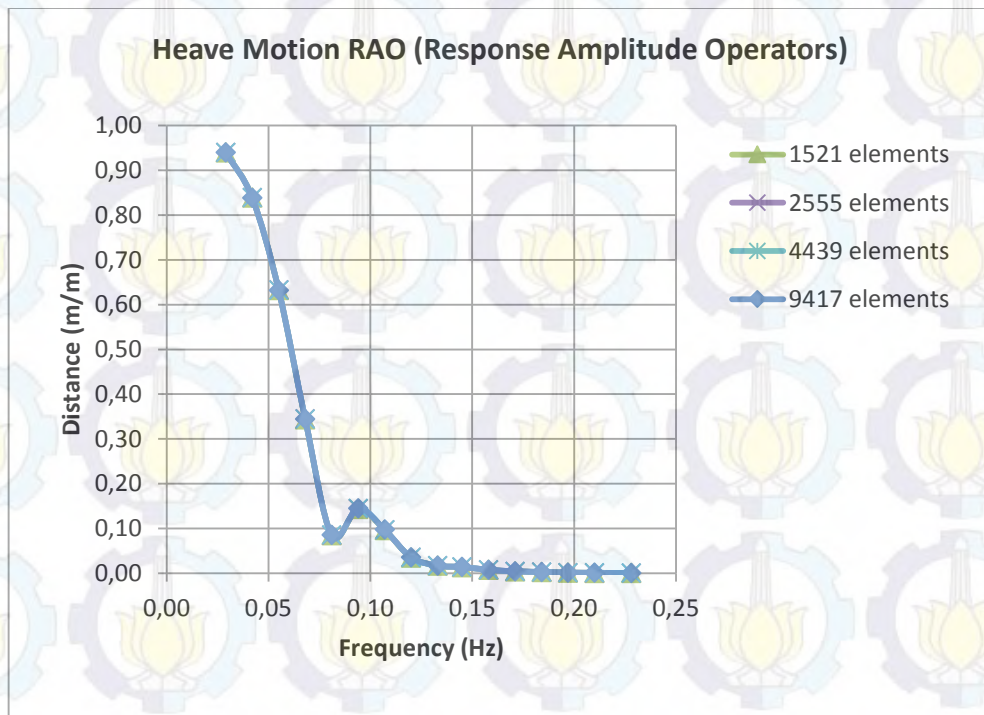
Hasil perhitungan konvergensi FSO pada kondisi *full load* dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini:



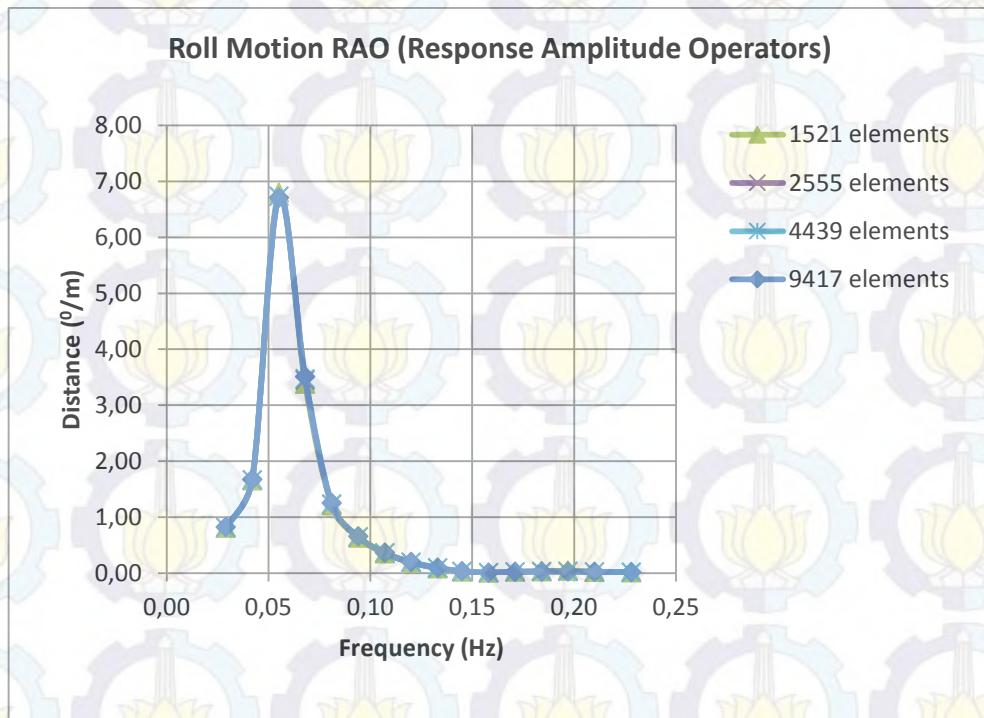
Grafik V-1 Konvergensi FSO untuk gerak surge



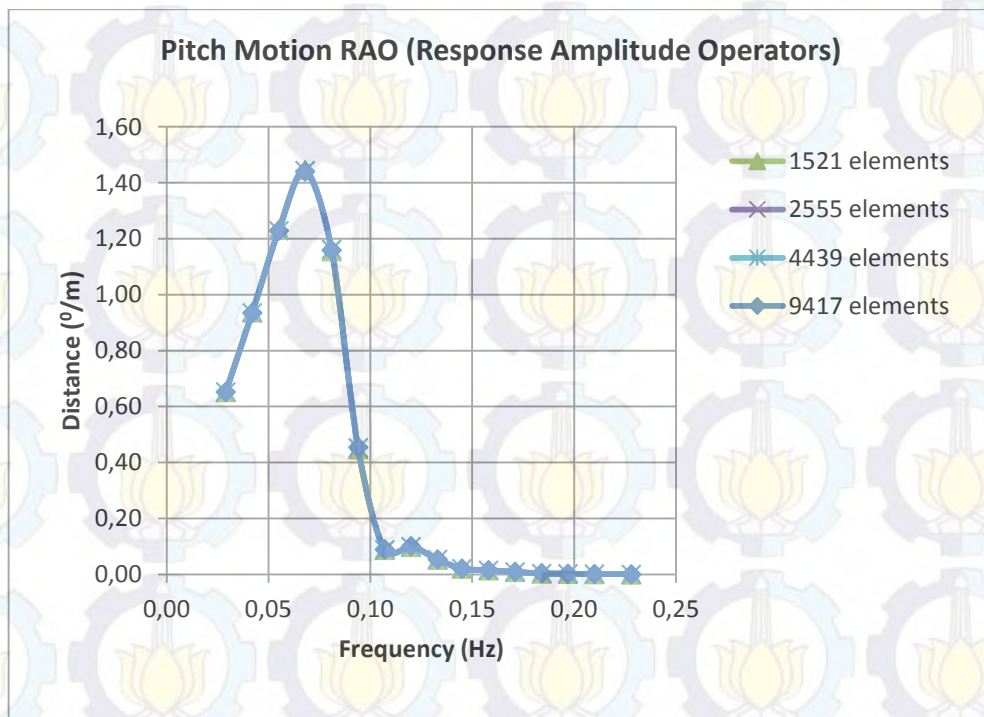
Grafik V-2 Konvergensi FSO untuk sway



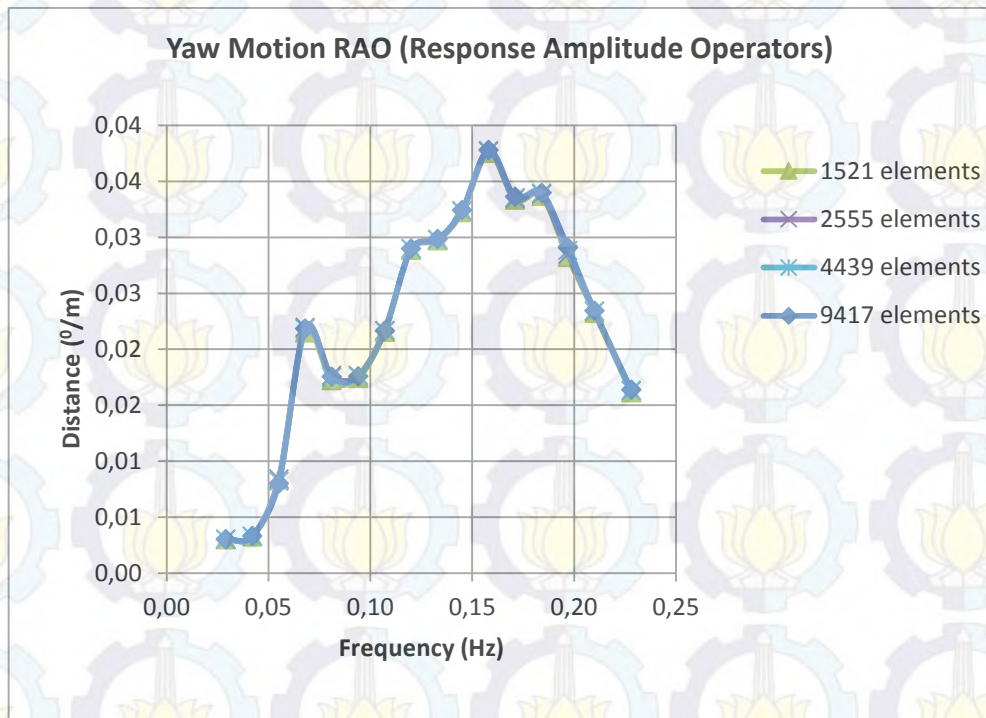
Grafik V-3 Konvergensi FSO gerak heave



Grafik V-4 Konvergensi FSO gerak roll

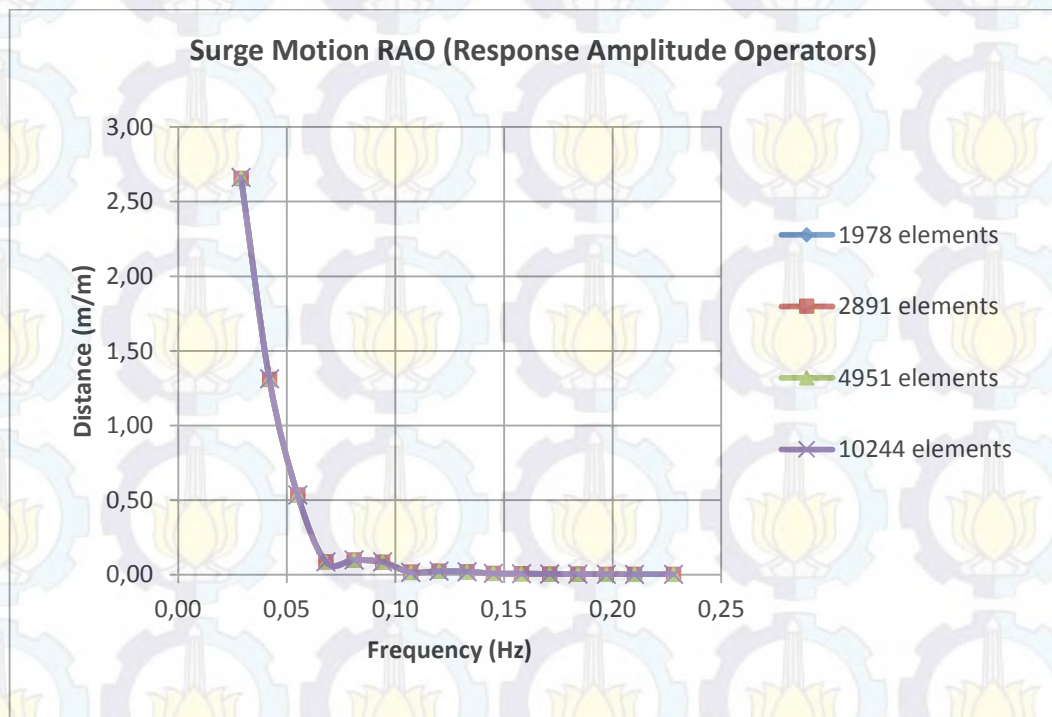


Grafik V-5 Konvergensi FSO gerak pitch

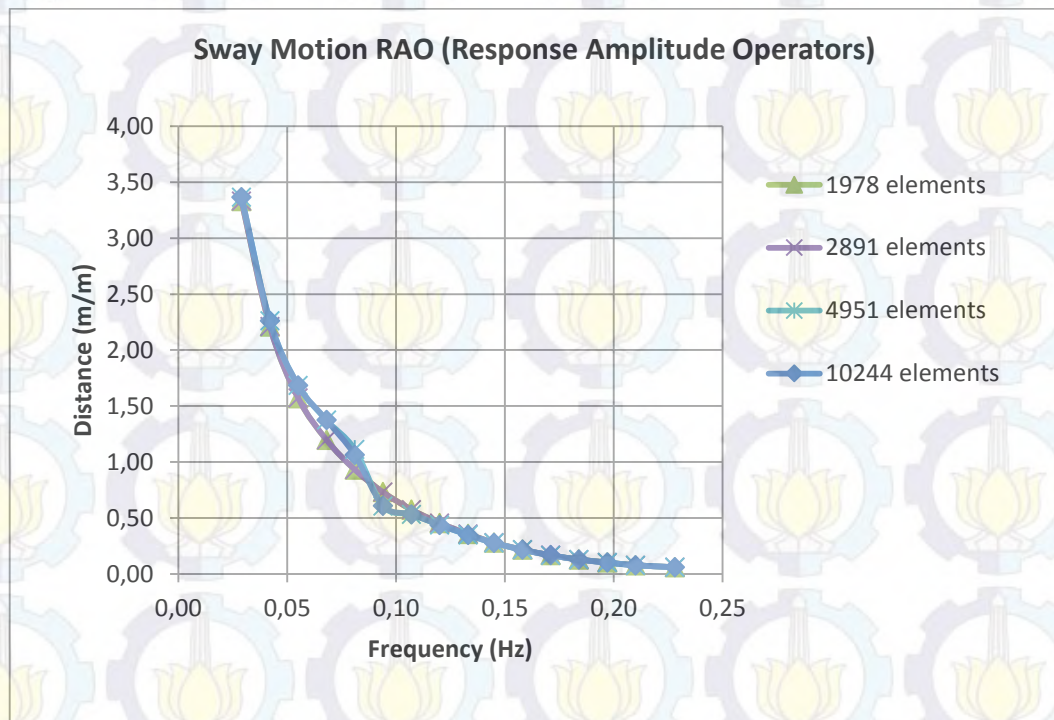


Grafik V-6 Konvergensi FSO gerak yaw

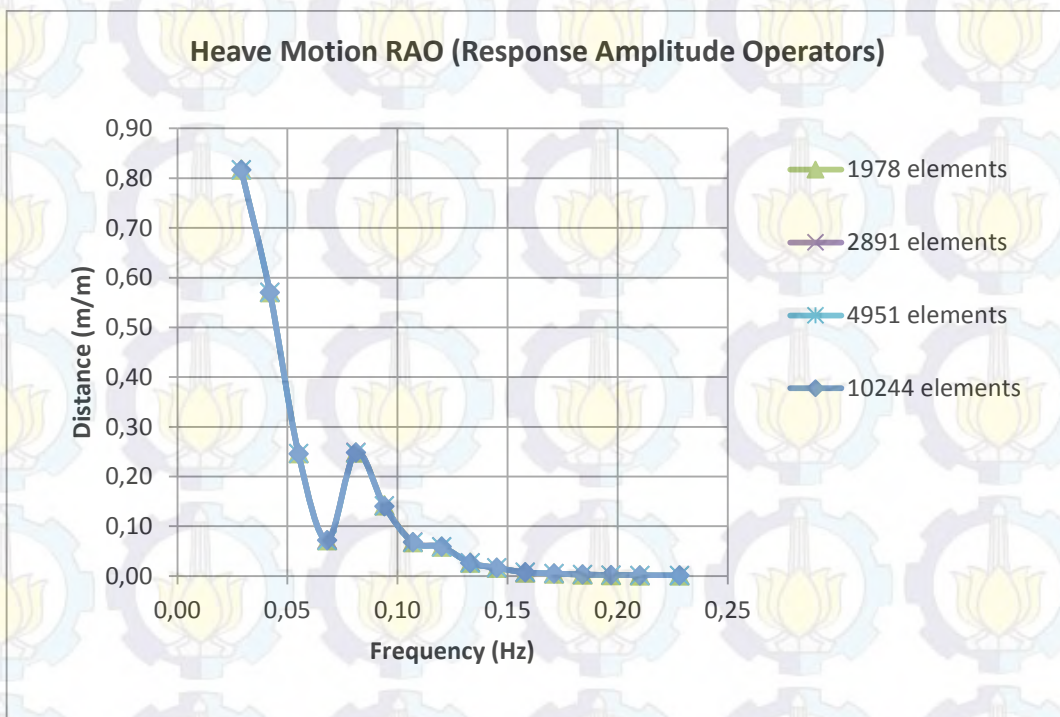
Hasil perhitungan konvergensi *shuttle tanker* pada kondisi *full load* dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini:



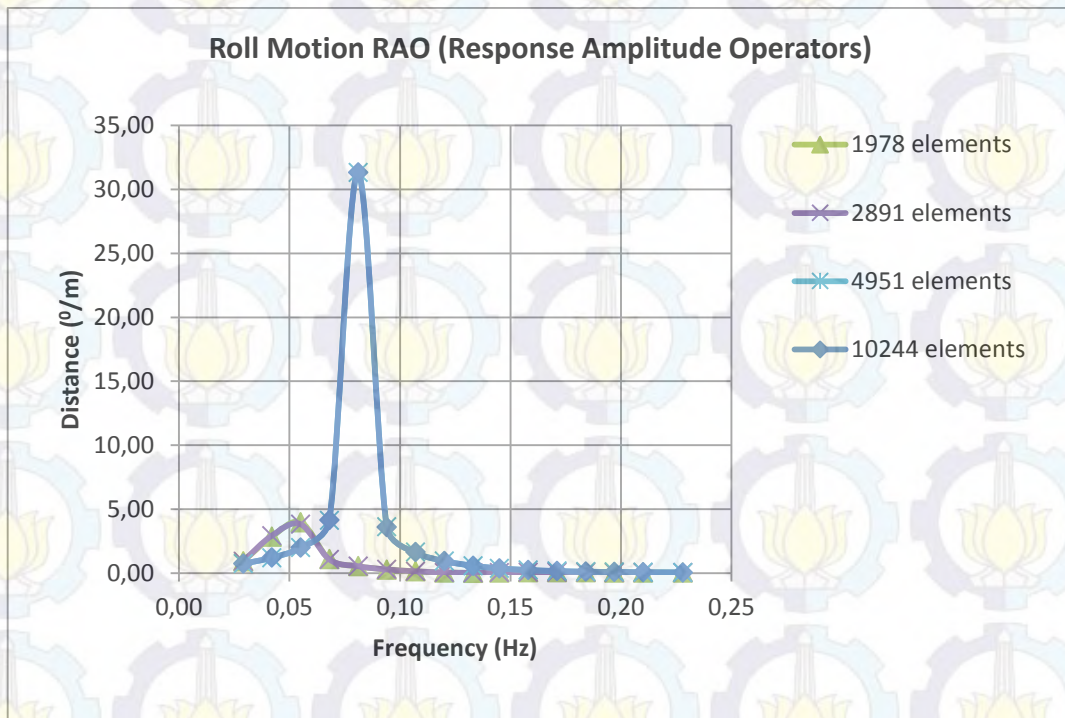
Grafik V-7 Konvergensi *shuttle tanker* gerak surge



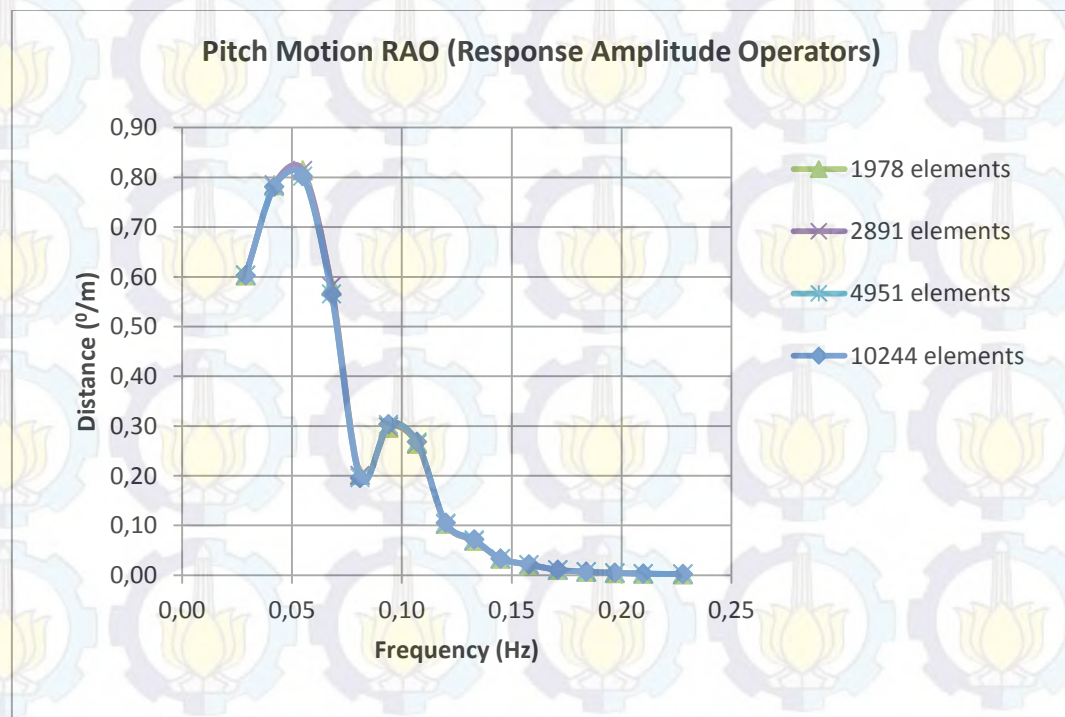
Grafik V-8 Konvergensi shuttle *tanker* gerak sway



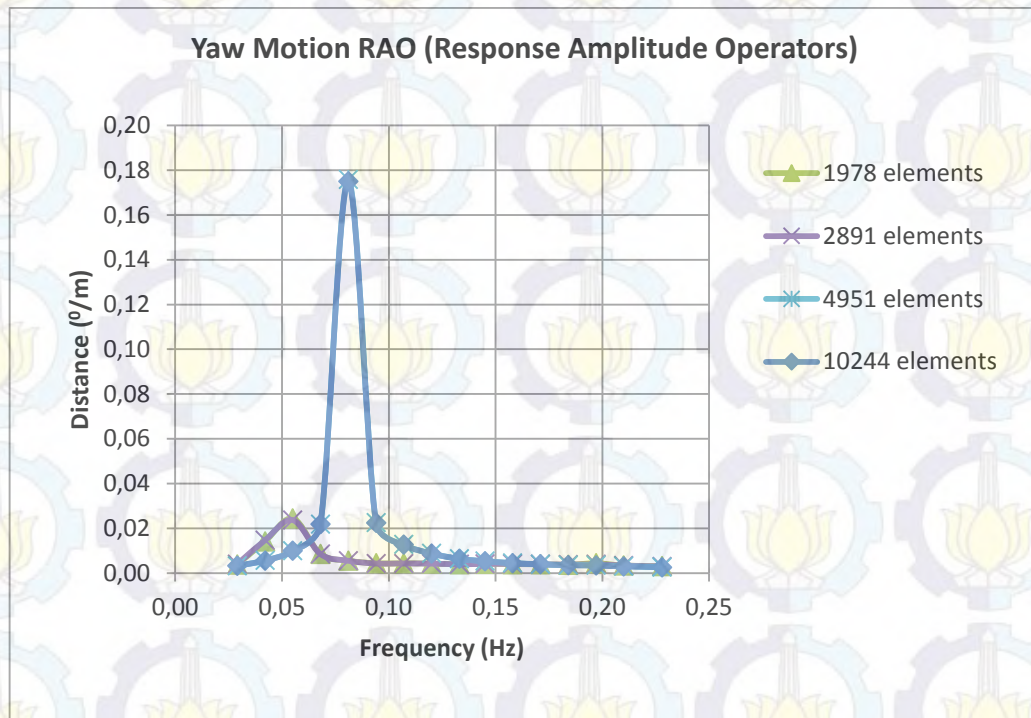
Grafik V-9 Konvergensi shuttle *tanker* gerak heave



Grafik V-10 Konvergensi shuttle *tanker* gerak roll



Grafik V-11 Konvergensi shuttle *tanker* gerak pitch

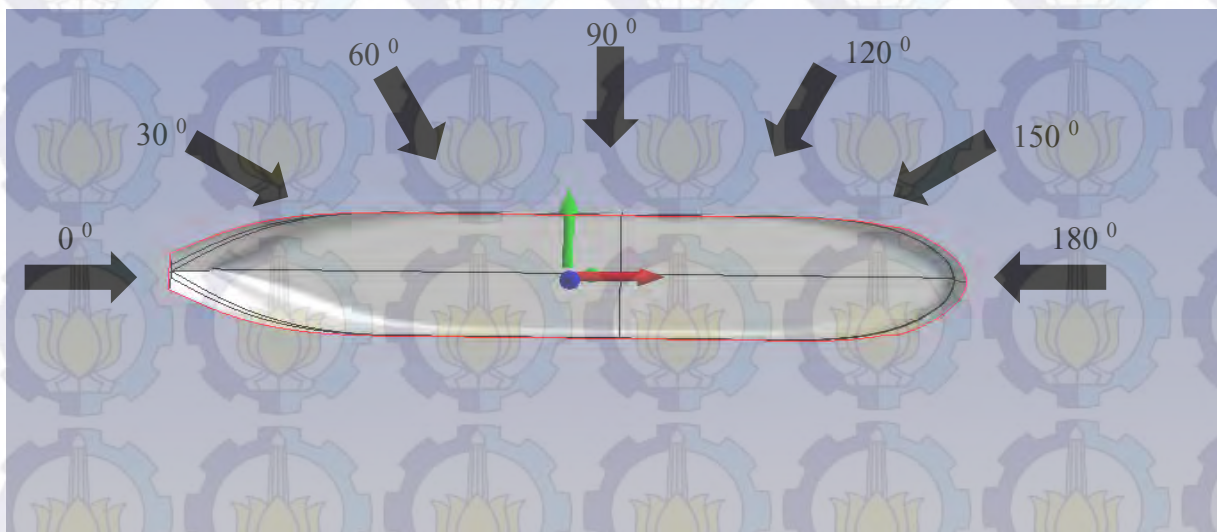


Grafik V-12 Konvergensi shuttle tanker gerak yaw

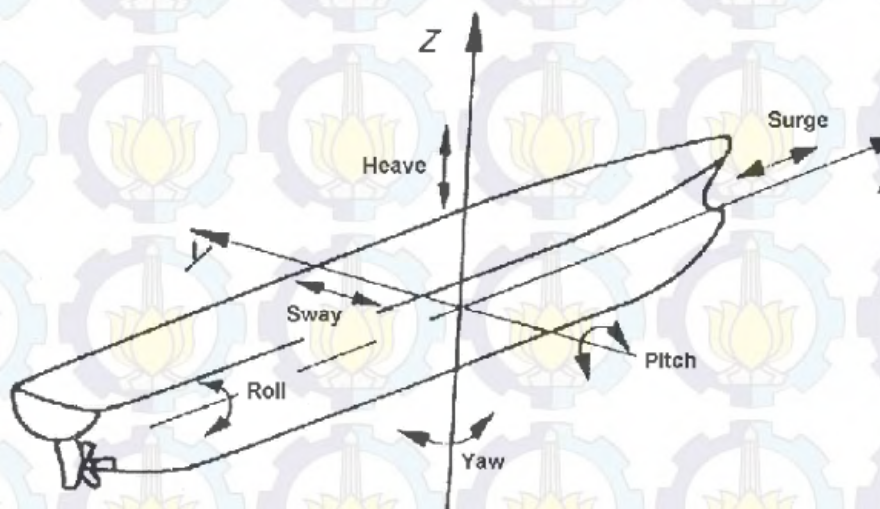
Dari hasil grafik diatas dapat dilihat bahwa konvergensi terjadi pada jumlah elemen terbesar dari masing masing model untuk FSO dan *shuttle tanker*. Hal tersebut dilihat dari tidak adanya perubahan significant dari dua grafik terakhir dengan variasi jumlah element.

V.4. Perhitungan Karakteristik Motion

Dalam analisa *mooring systemn line tension* diperlukan *respon amplitude operator* (RAO) dari bangunan apung (FSO) yang mendeskripsikan karakteristik gerakan FSO ketika dikenani beban lingkungan. Perhitungan karakteristik motion dilakukan setelah hasil model valid dan konvergen sehingga bisa memperoleh hasil yang akurat. Perhitungan RAO dilakukan untuk semua derajat kebebasan gerak kapal (*surge, sway, heave, roll, pitch, dan yaw*). Pada penelitian ini analisa RAO dilakukan dengan variasi 7 arah mata angin, antara lain: 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° yang relatif terhadap arah utara. Perhitungan karakteristik motion dilakukan pada FSO dan *shuttle tanker* untuk kondisi *full load* dan *ballast*.

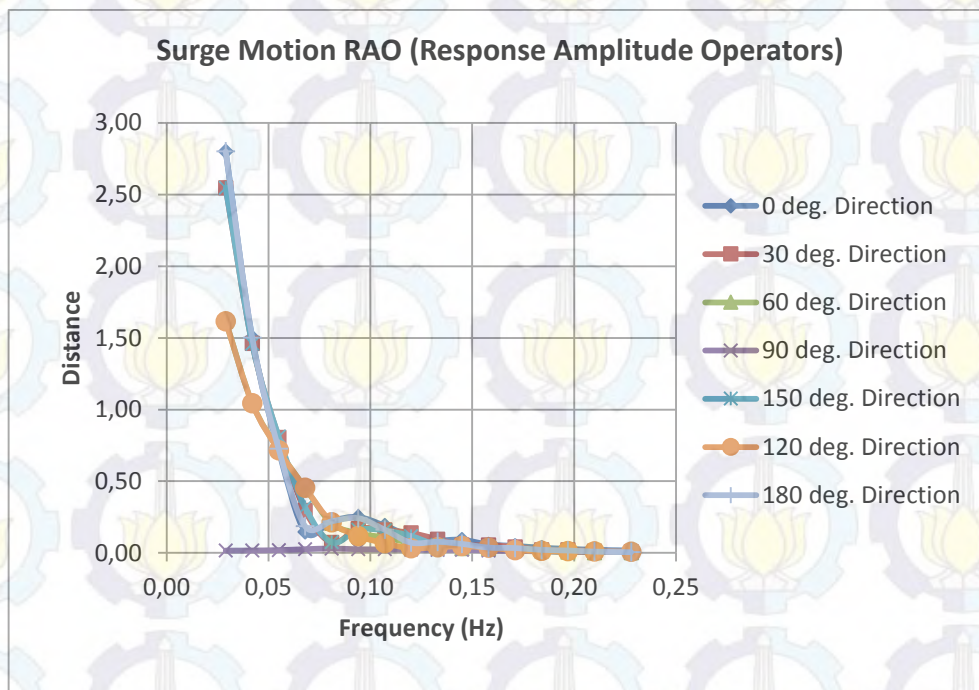


Grafik V-13 Arah pembebanan pada model

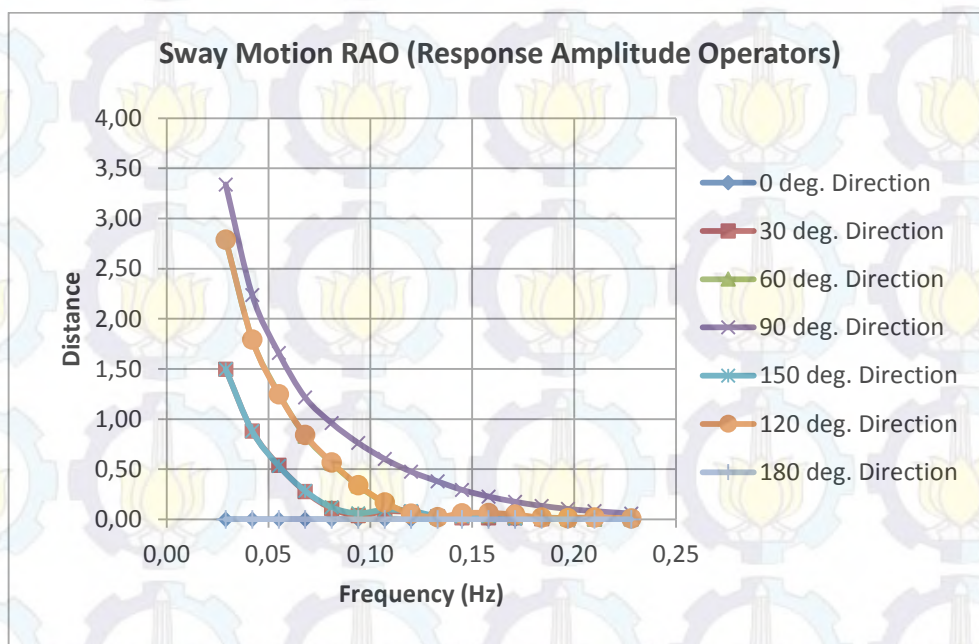


Grafik V-14 Arah gerakan kapal

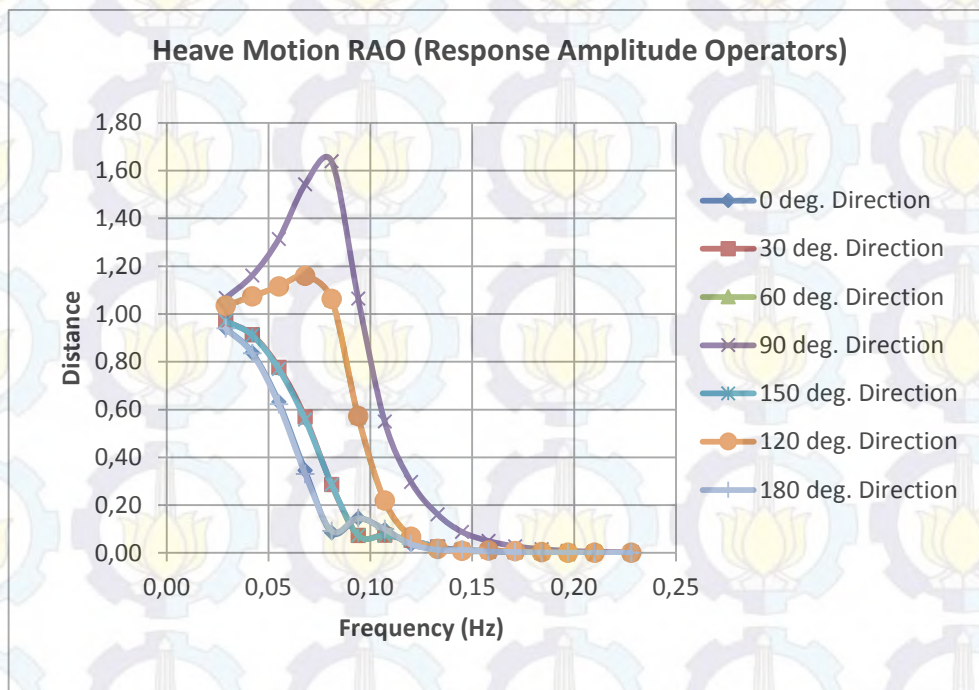
Hasil perhitungan karakteristik motion untuk FSO pada kondisi *full load* dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini:



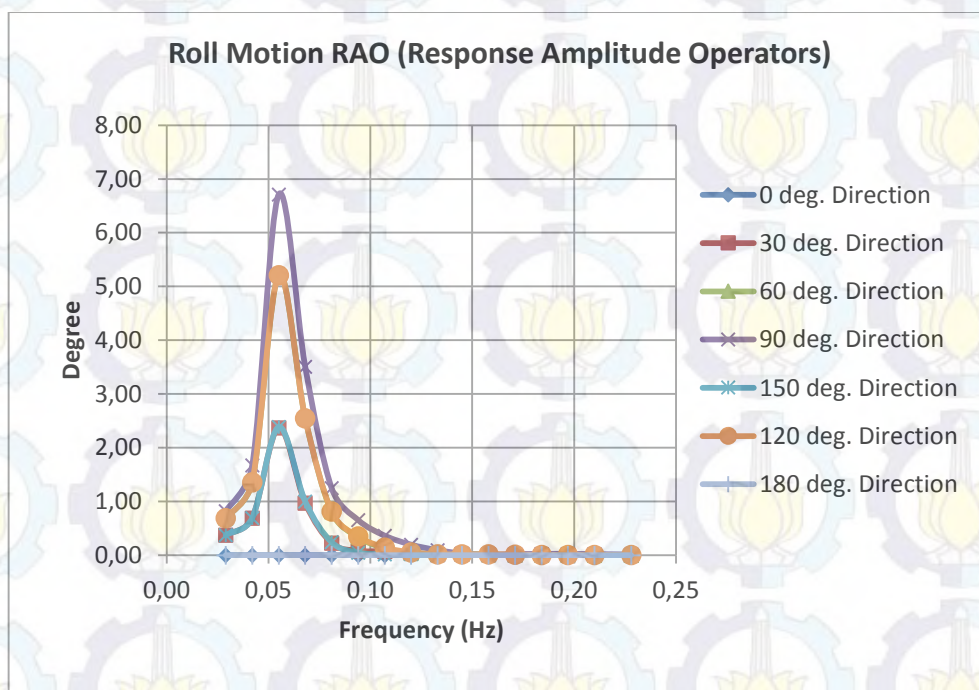
Grafik V-15 Surge motion FSO kondisi full load



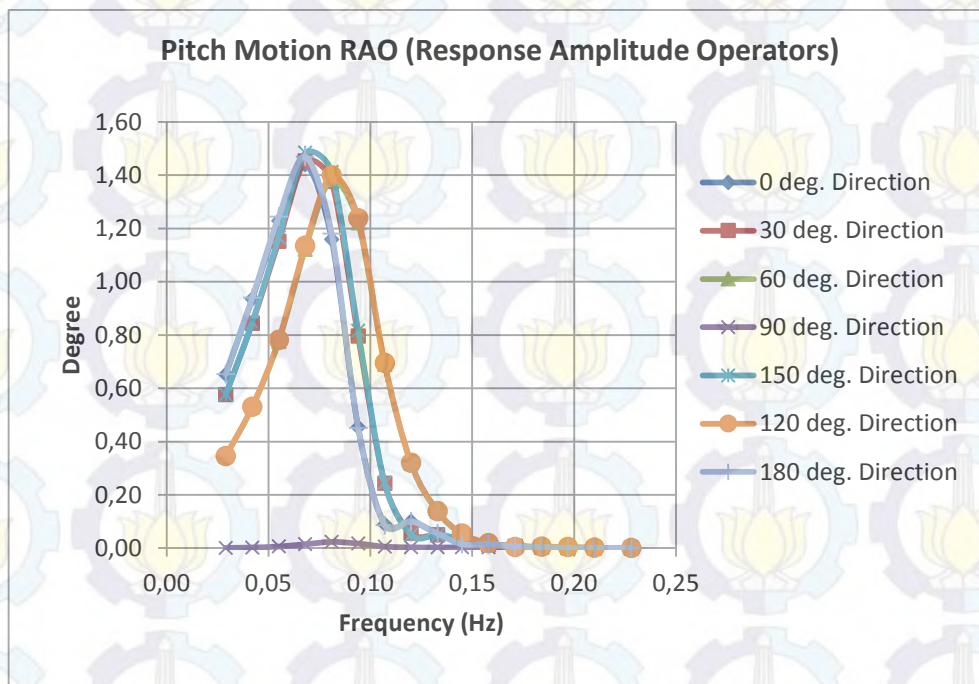
Grafik V-16 Sway motion FSO kondisi full load



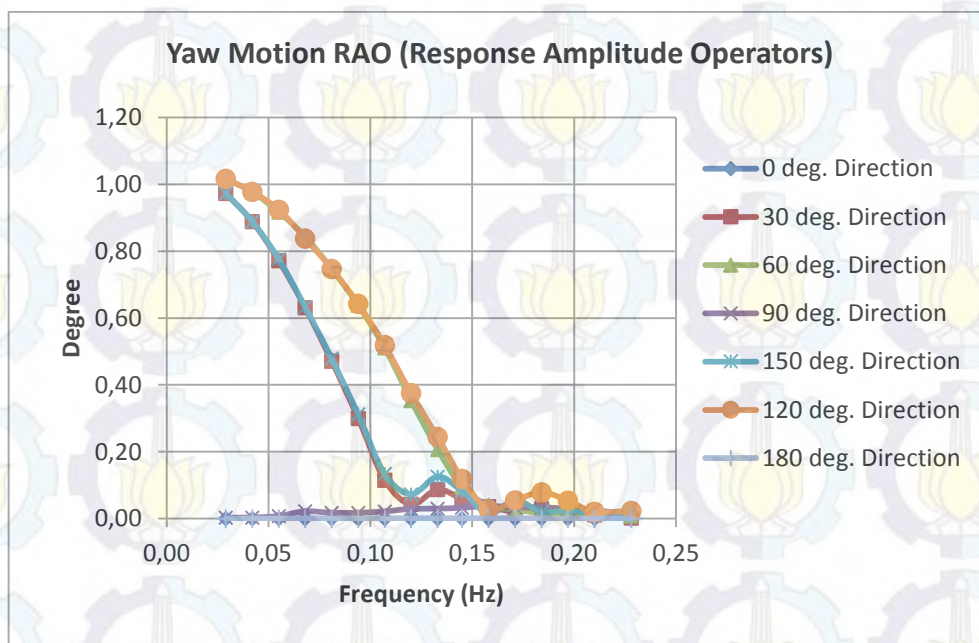
Grafik V-17 Heave motion FSO kondisi full load



Grafik V-18 Roll motion FSO kondisi full load

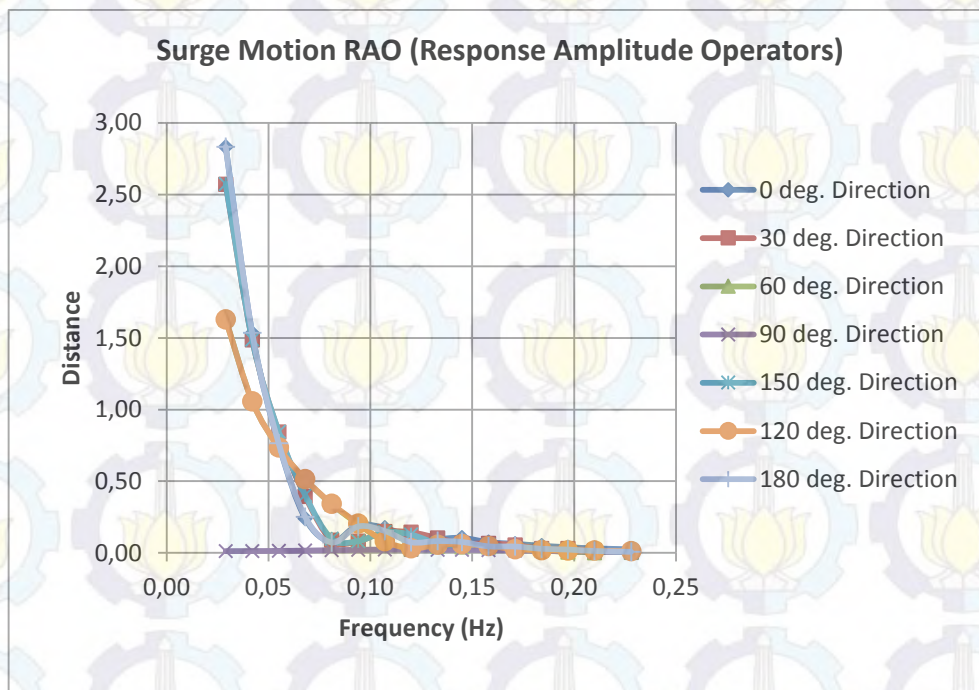


Grafik V-19 Pitch motion FSO kondisi full load

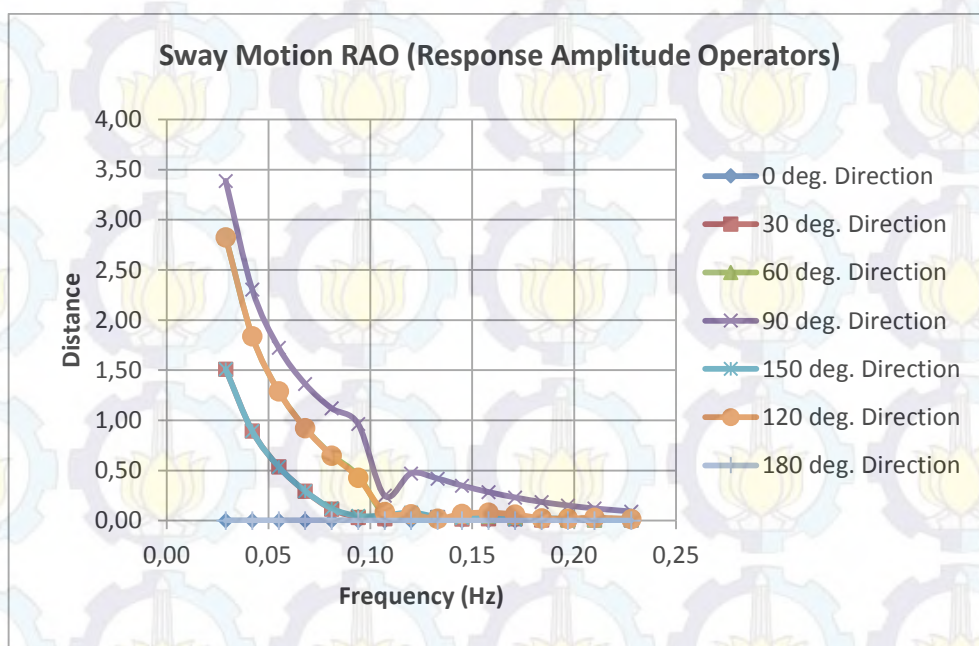


Grafik V-20 Yaw motion FSO kondisi full load

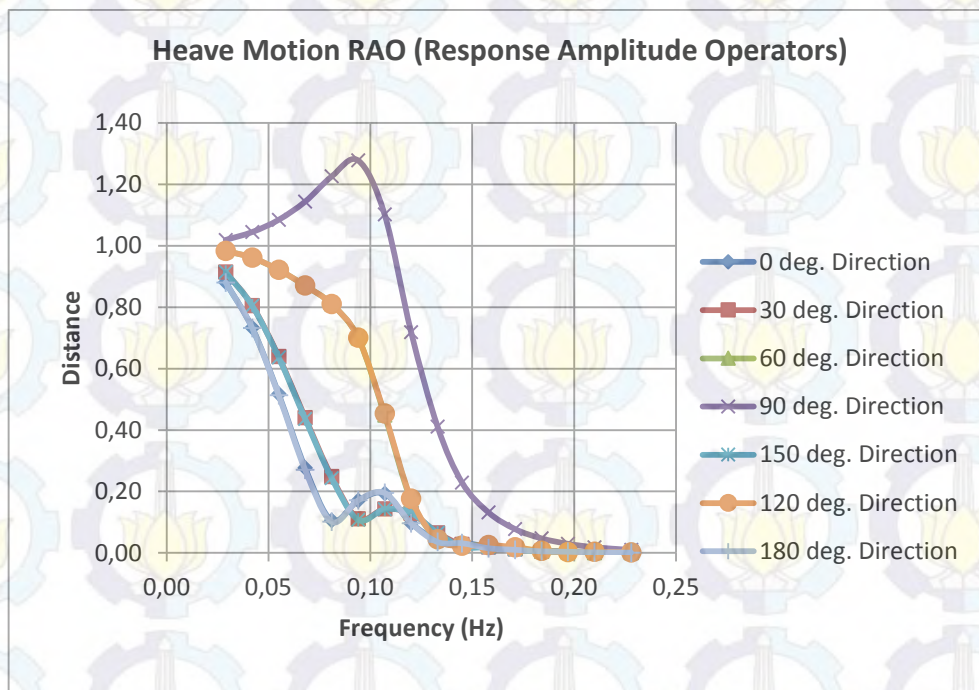
Hasil perhitungan karakteristik motion untuk FSO pada kondisi *ballast* dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini:



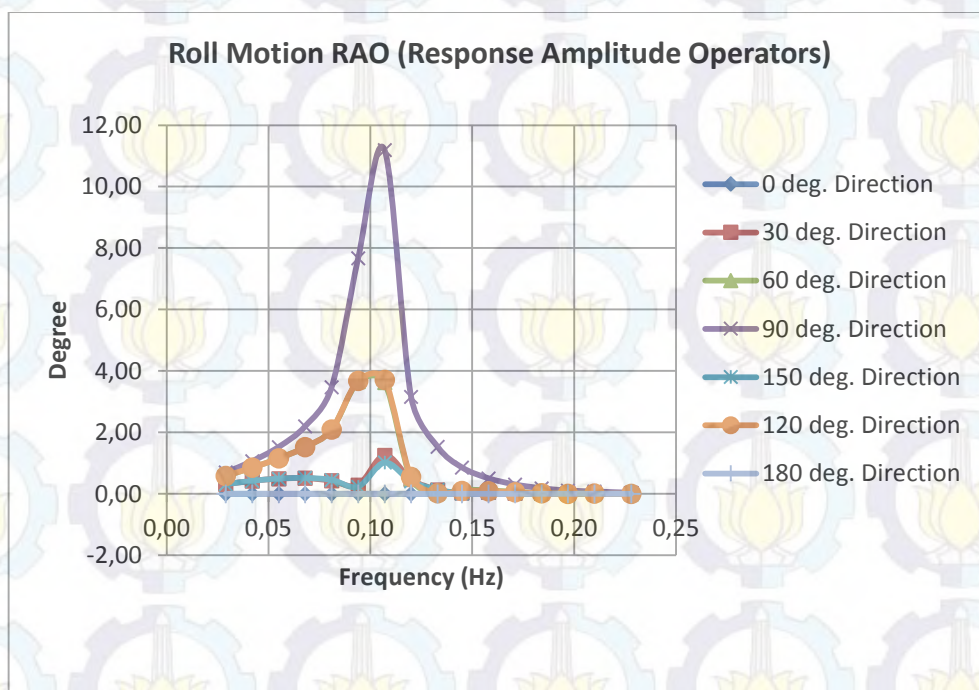
Grafik V-21 Surge motion FSO kondisi ballast



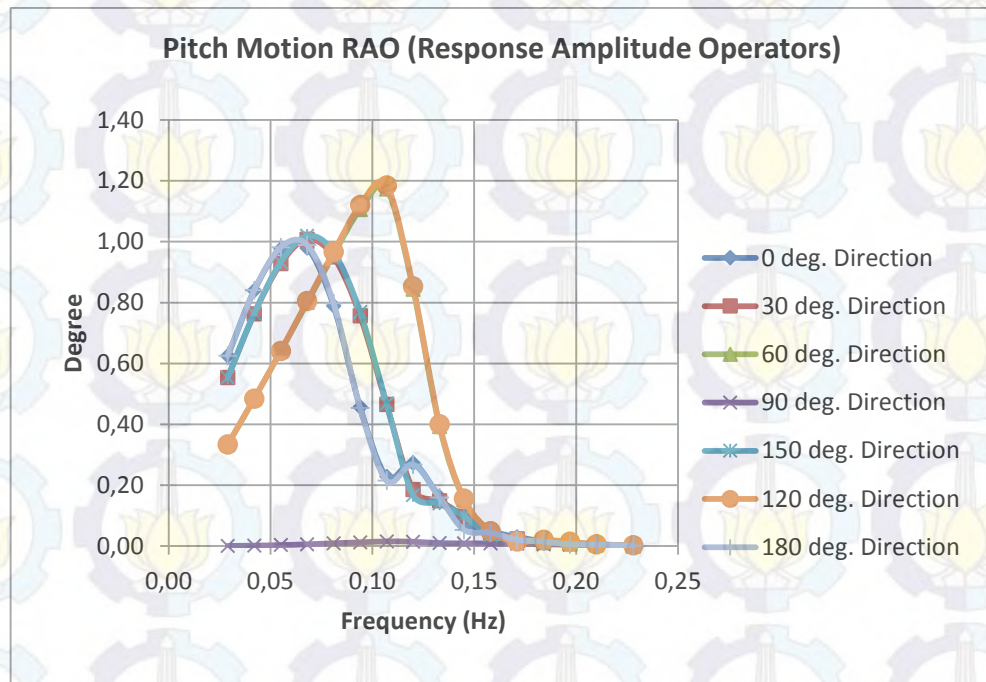
Grafik V-22 Sway motion FSO kondisi ballast



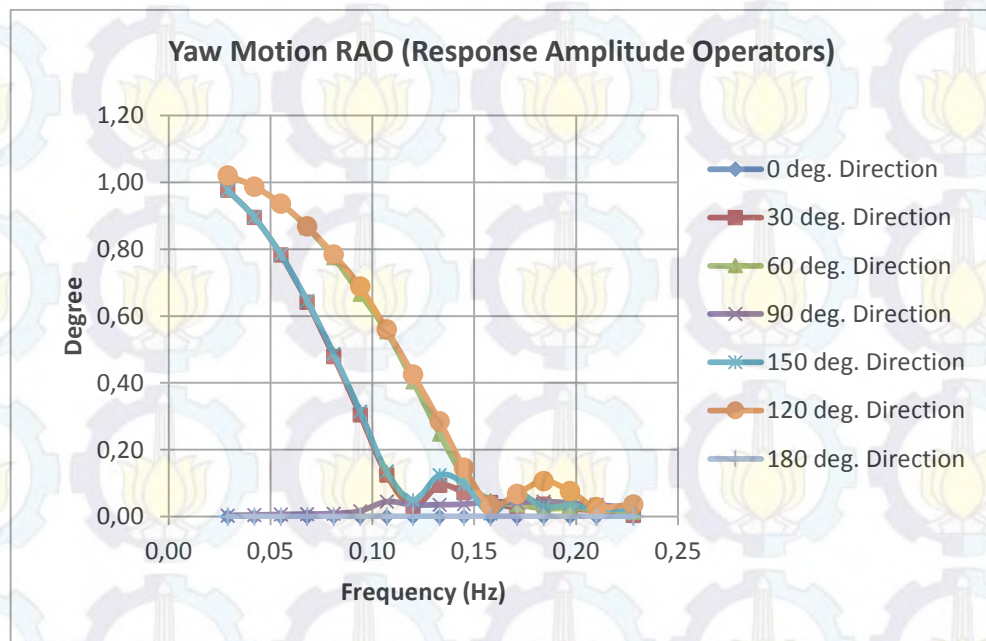
Grafik V-23 Heave motion FSO kondisi ballast



Grafik V-24 Roll motion FSO kondisi ballast

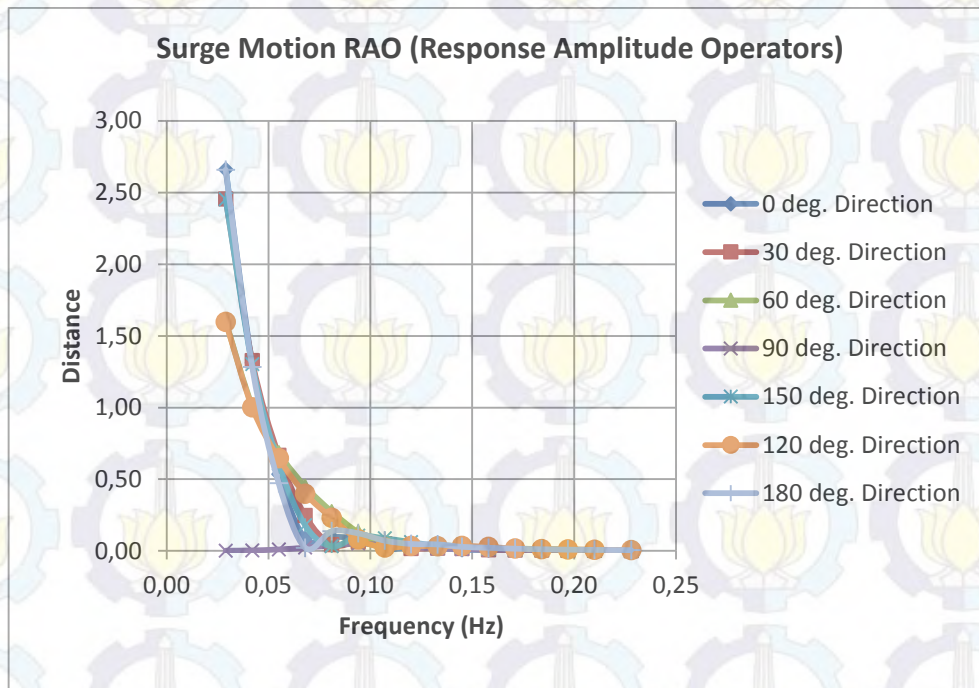


Grafik V-25 Pitch motion FSO kondisi ballast

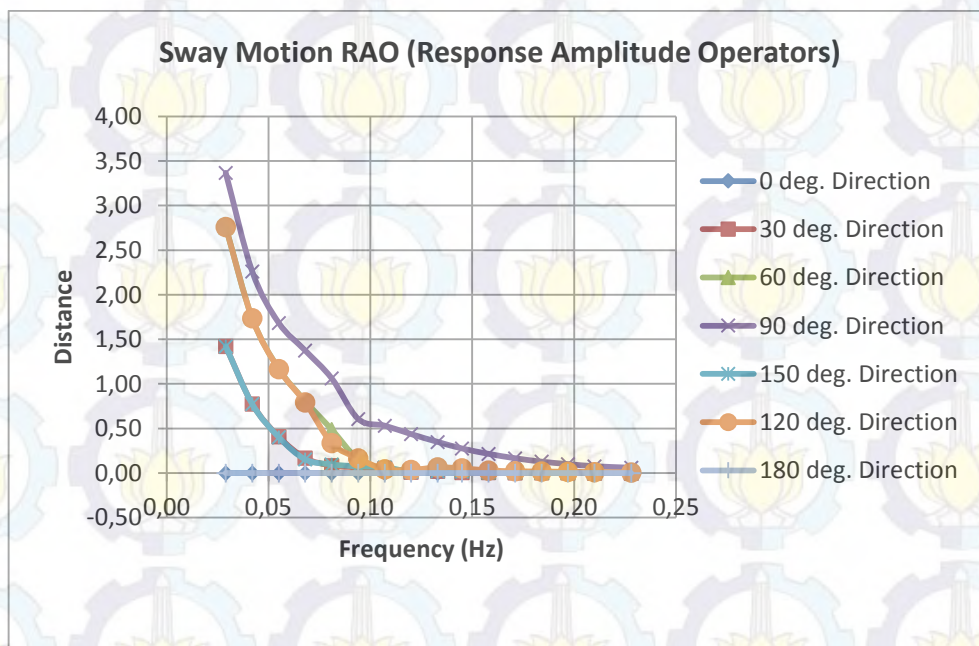


Grafik V-26 Yaw motion FSO kondisi ballast

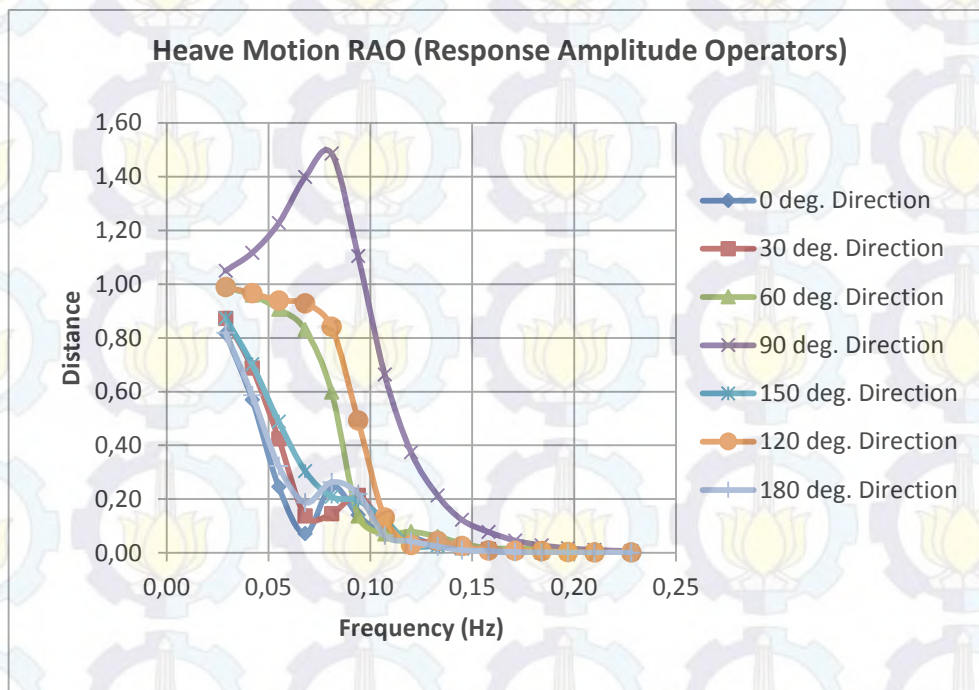
Hasil perhitungan karakteristik motion untuk *shuttle tanker* pada kondisi *full load* dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini:



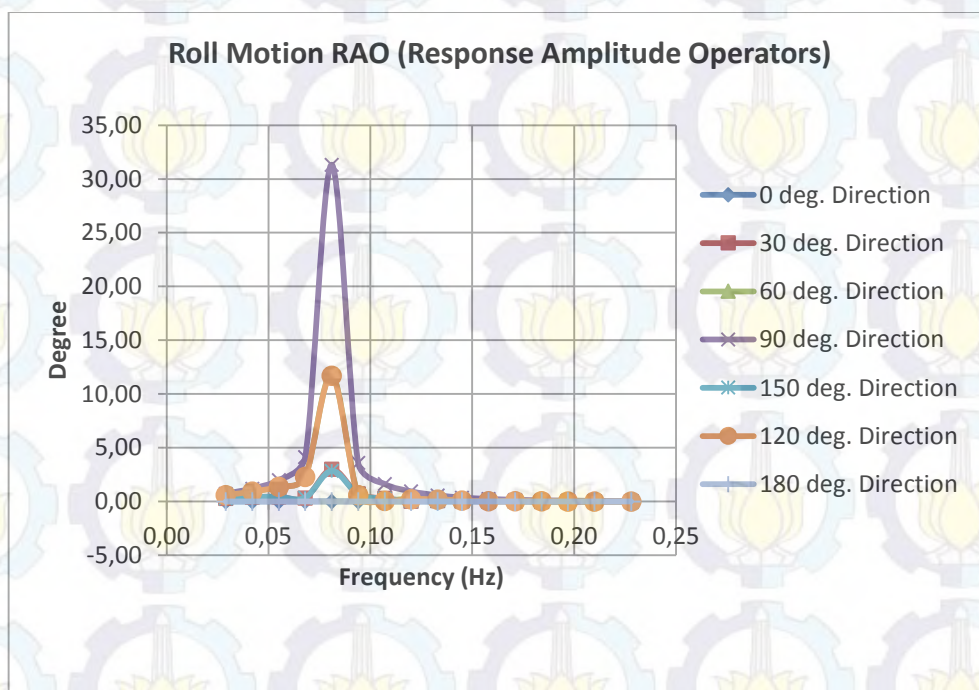
Grafik V-27 Surge motion shuttle *tanker* kondisi full load



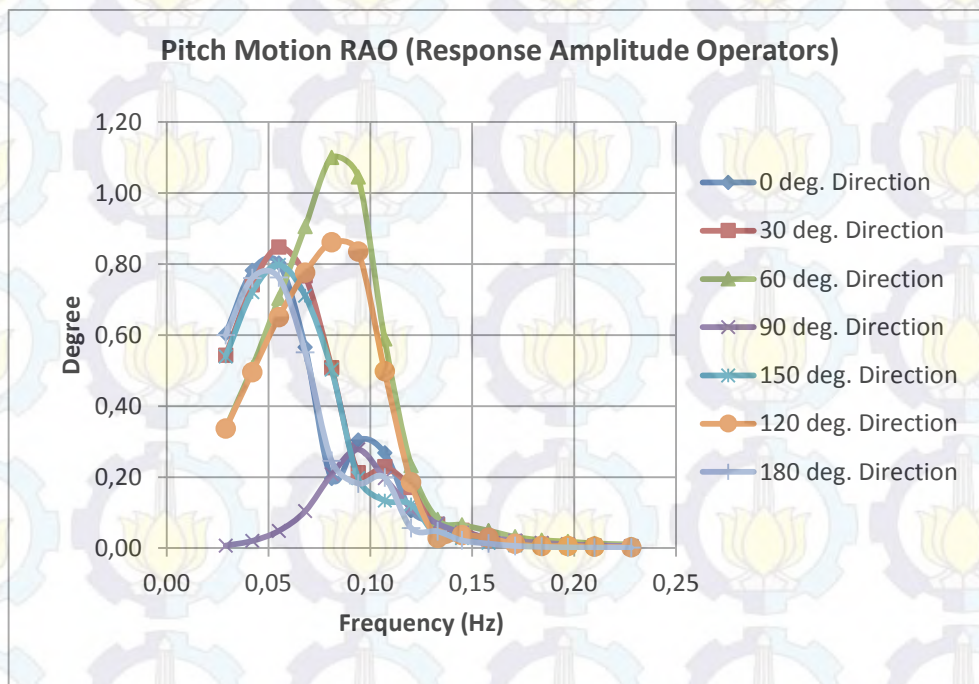
Grafik V-28 Sway motion shuttle *tanker* kondisi full load



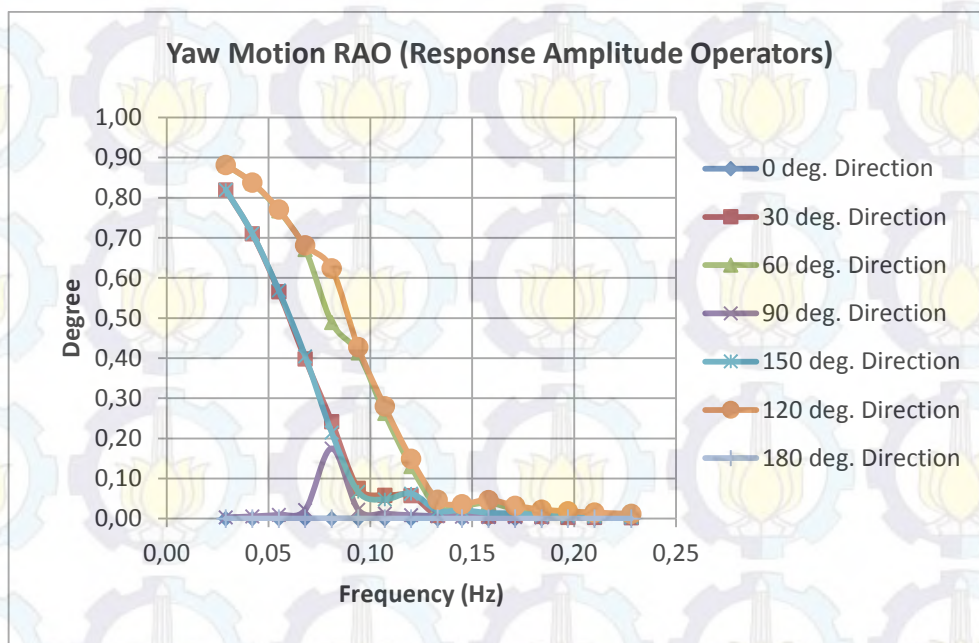
Grafik V-29 Heave motion shuttle *tanker* kondisi full load



Grafik V-30 Roll motion shuttle *tanker* kondisi full load

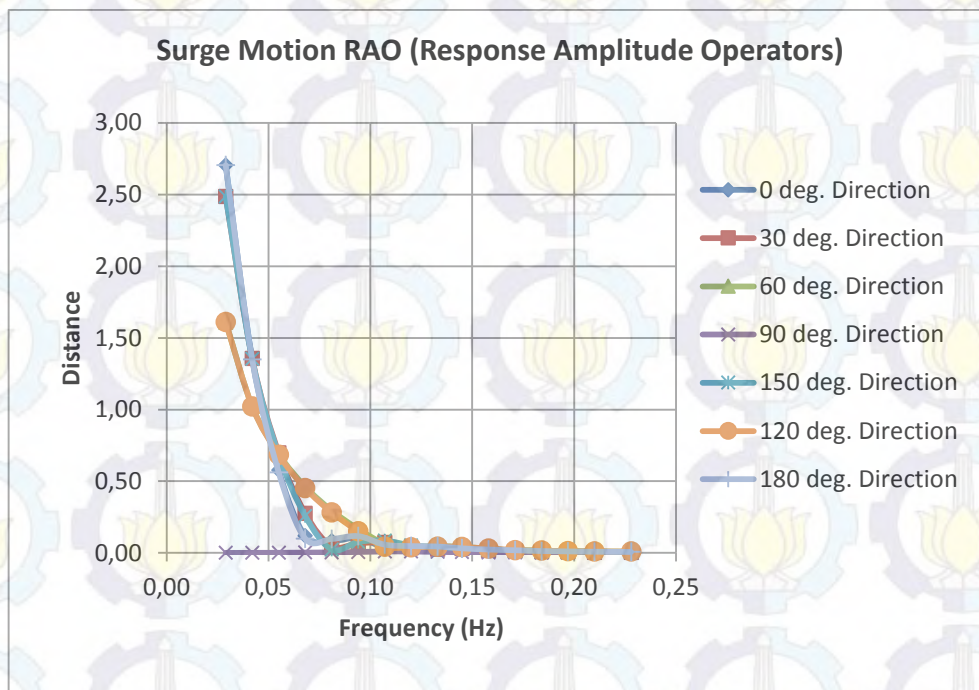


Grafik V-31 Pitch motion shuttle *tanker* kondisi full load

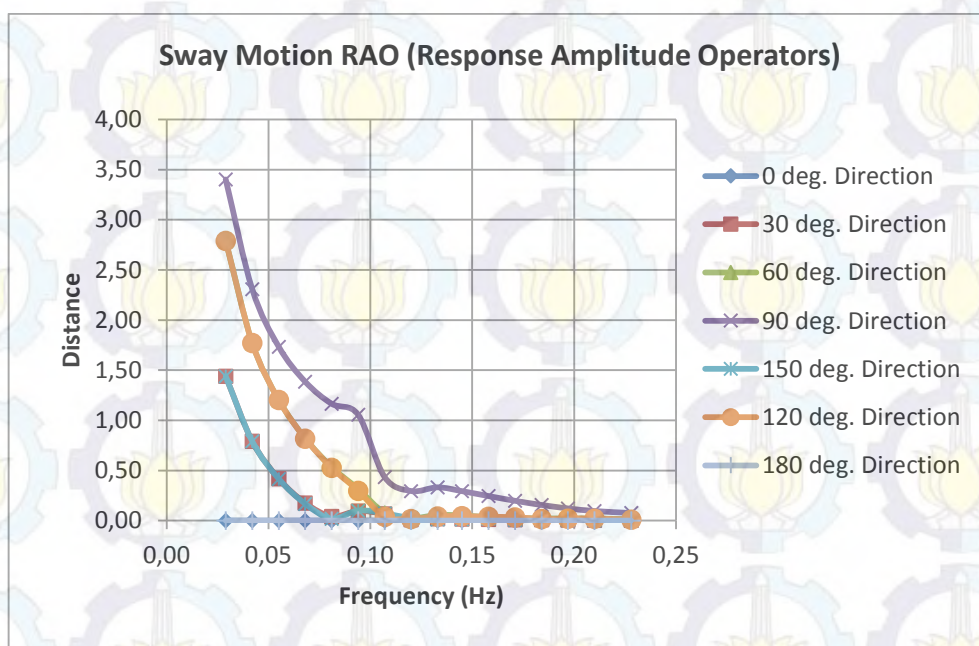


Grafik V-32 Yaw motion shuttle *tanker* kondisi full load

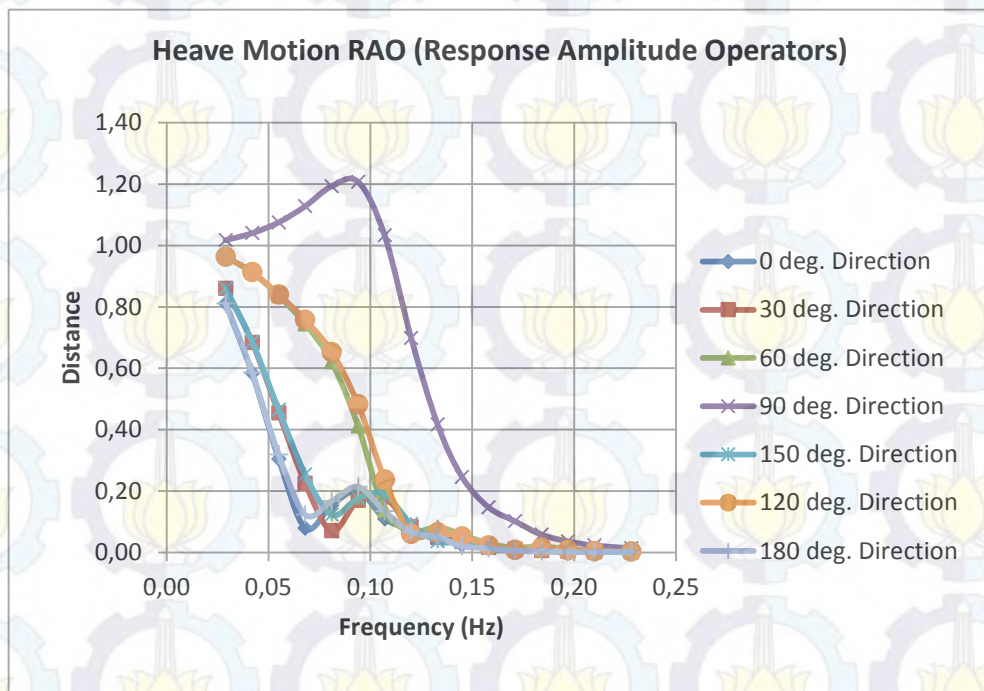
Hasil perhitungan karakteristik motion untuk *shuttle tanker* pada kondisi *ballast* dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini:



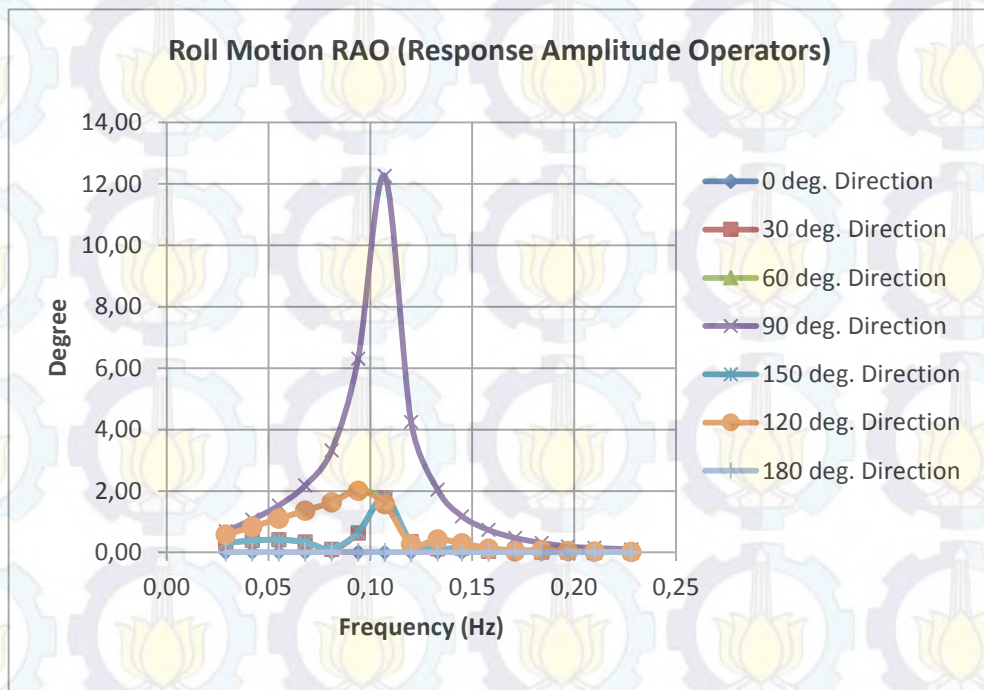
Grafik V-33 Surge motion shuttle *tanker* kondisi ballast



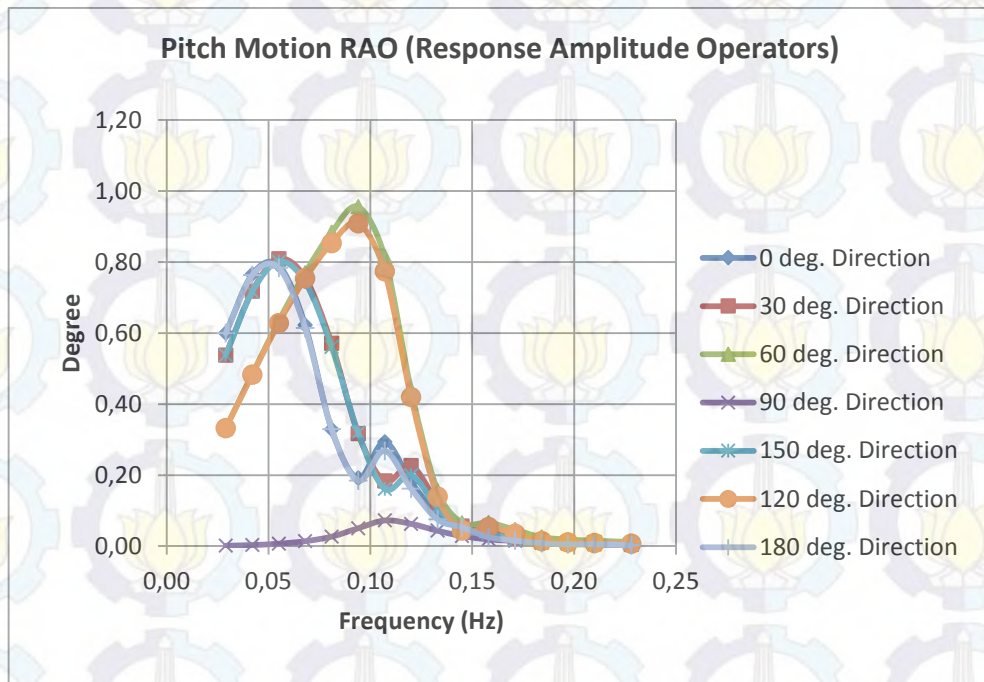
Grafik V-34 Sway motion shuttle *tanker* kondisi ballast



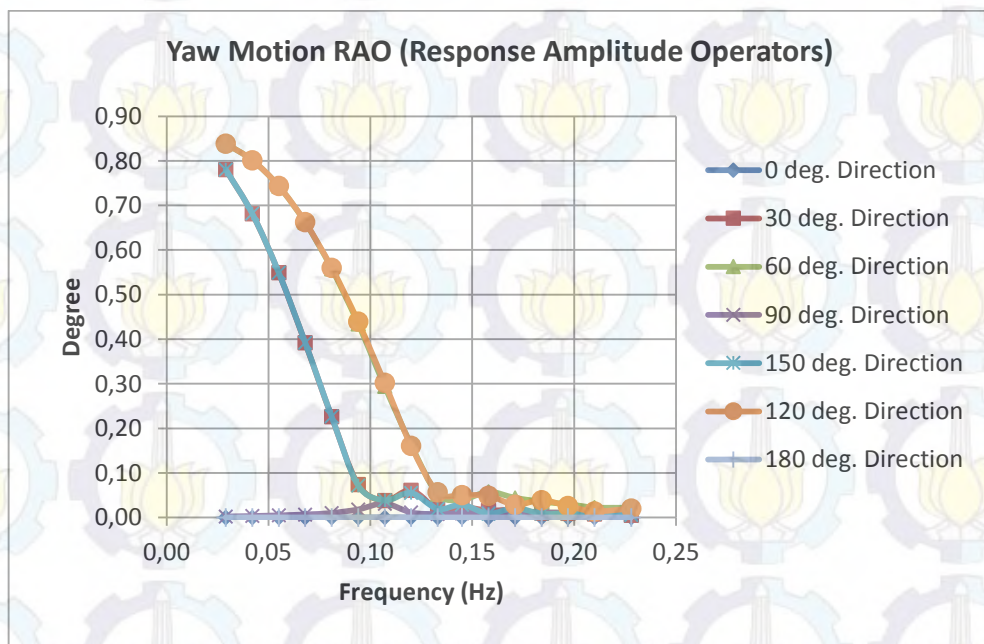
Grafik V-35 Heave motion shuttle *tanker* kondisi ballast



Grafik V-36 Roll motion shuttle *tanker* kondisi ballast



Grafik V-37 Pitch motion shuttle *tanker* kondisi ballast



Grafik V-38 Yaw motion shuttle *tanker* kondisi ballast

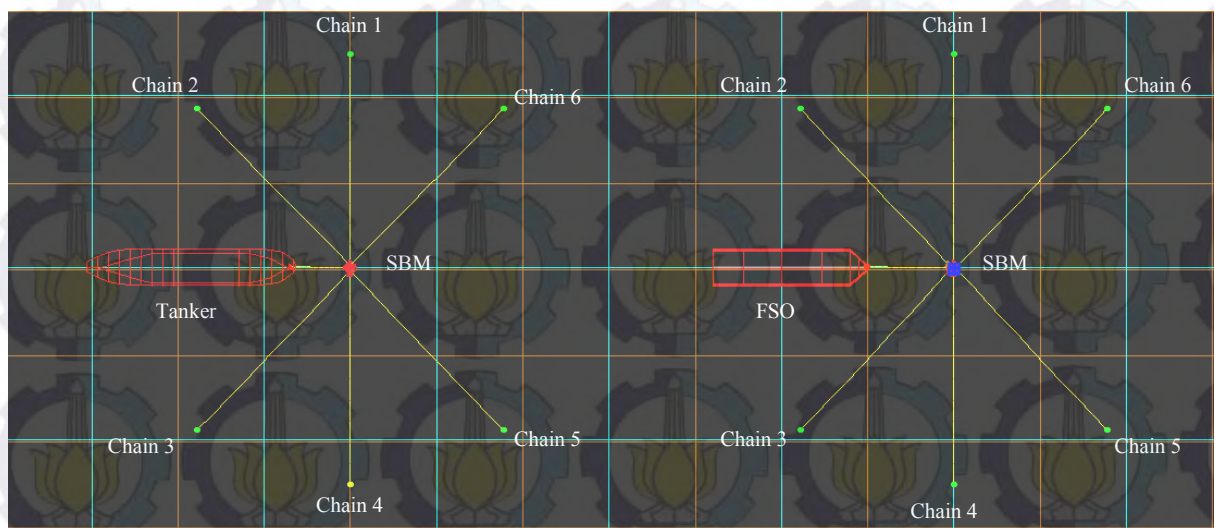
V.5. Konfigurasi Alternatif Floating Terminal

Gambar dibawah ini adalah alternatif konfigurasi *floating terminal* yang didesain sesuai dengan tujuan poin 2. Pada desain alternatif ini propertis untuk SBM dan *chain* untuk *new bulid* SBM disamakan dengan *existing* SBM. Propertis meliputi dimensi SBM, diameter dan berat

chain, posisi *anchor*, serta dimensi dan berat *hawser*. Jarak antara *existing* SBM dan *new build* SBM didesain sejauh 1000 m.



Gambar V-1 Tampak samping alternatif konfigurasi floating terminal



Gambar V-2 Tampak atas konfigurasi alternatif floating terminal

V.6. Perhitungan Line Tension

Perhitungan line tension pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *combined time and frequency domain approach* untuk menganalisa gerak dinamik kapal serta menggunakan metode *quasi-static analysis* dan *dynamic analysis* untuk memprediksi beban dinamik *mooring*. Kedua metode tersebut digunakan sebagai metode pada *software* orcaflex yang digunakan sebagai tools dalam penelitian ini untuk menganalisa *line tension* pada *single buoy mooring*.

Pada penelitian ini, analisa *mooring line* dilakukan pada 2 kondisi sesuai dengan standar API RP2SK yaitu:

- *Design/storm condition*

Analisa pada kondisi ini dilakukan dengan mengkondisikan *single buoy mooring* dikenai beban lingkungan (angin, arus, gelombang) sesuai dengan 100 years return berdasarkan data lingkungan di perairan Tuban. Pada kondisi ini dikondisikan tidak ada kapal yang tambat di *single buoy mooring*.

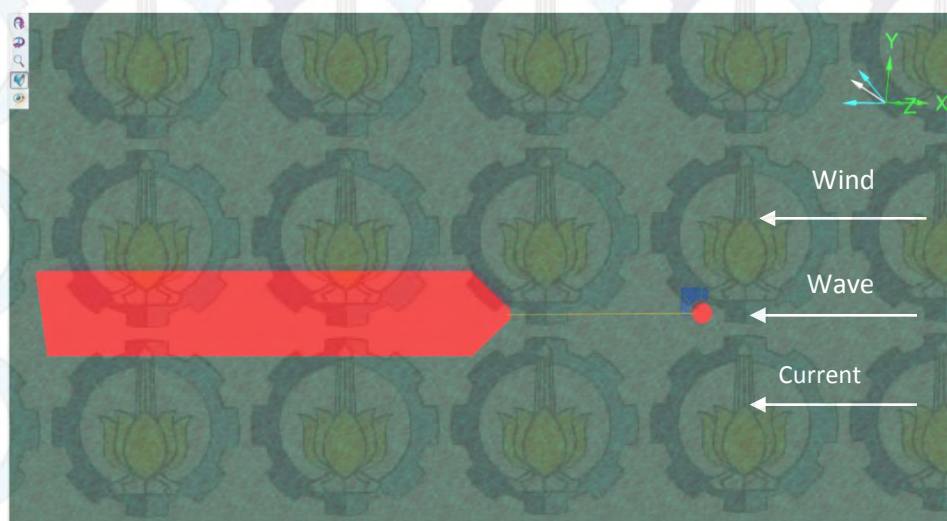
- *Operation condition*

Analisa pada kondisi ini dilakukan dengan mengkondisikan *single buoy mooring* dikenai beban lingkungan (angin, arus, gelombang) sesuai dengan 10 years return berdasarkan data lingkungan di perairan Tuban. Pada kondisi ini dikondisikan kapal tambat di *single buoy mooring*. Kondisi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *mooring line* menahan tension saat kondisi operasional.

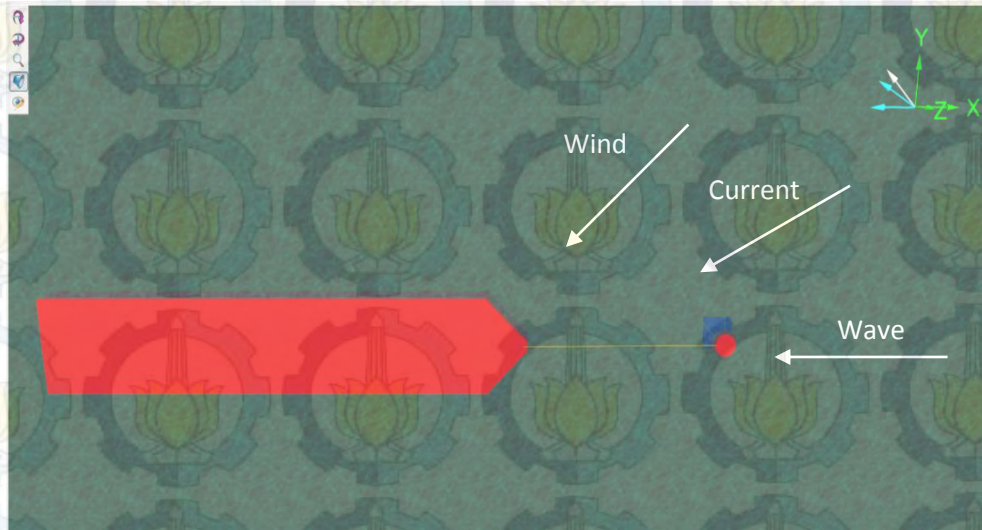
Untuk kedua kondisi diatas, simulasi dinamik dilakukan dengan 2 load case, yaitu:

- *Intact case*, kondisi saat *mooring chain* terpasang lengkap.
- *Damage case*, kondisi dimana salah satu *mooring chain* terputus.

Selain kondisi yang telah disebutkan diatas, simulai pada penelitian ini juga dilakukan variasi datangnya arah arus dan angin (*non collinear*) serta tanpa variasi arah datangnya arus dan angin (*collinear*). Untuk kondisi *non collinear* untuk arus variasi dilakukan sebesar 45° terhadap arah datangnya gelombang, dan angin sebesar 30° terhadap arah datangnya gelombang serta sebaliknya. Gambar dibawah ini menunjukkan variasi arah datangnya gelombang, arus, dan angin yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar V-3 Collinear



Gambar V-4 Non Collinear

Besarnya *safety factor* yang dialami oleh *mooring chain* dan *hawser* harus lebih kecil dari *allowable safety factor* yang diadopsi dari rules ABS. Nilai *mooring lines safety factor* merupakan ratio nilai minimum *breaking load* setelah korosi dan nilai actual *line tension* untuk analisa dinamis.

Tabel V-3 Mooring lines safety factor

<i>Condition</i>	<i>Condition</i>	<i>Safety factor</i>
<i>All line intact</i>	<i>Storm condition without vessel</i>	2.5
	<i>Operation condition with vessel</i>	3
<i>1 line damage</i>	<i>Storm and Operation</i>	2

Tabel V-4 Hawser safety factor

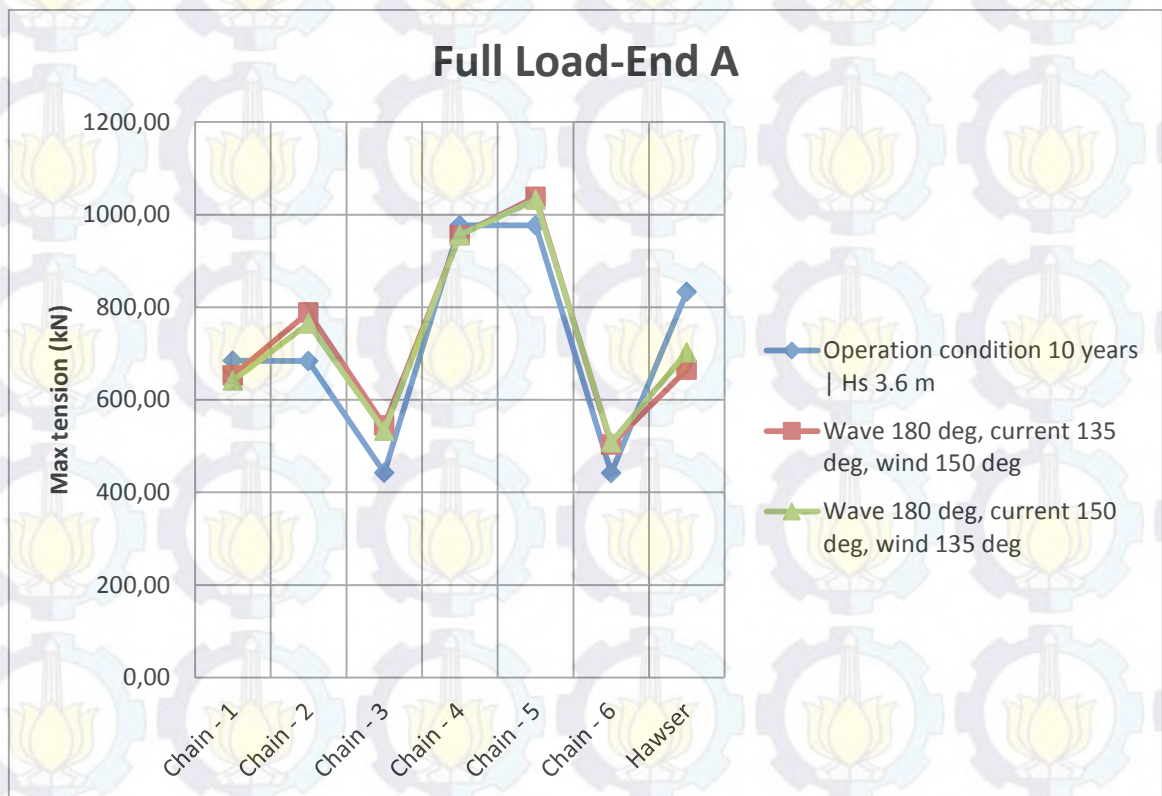
<i>Condition</i>	<i>Safety factor</i>
<i>Operation condition</i>	1.67

V.6.1. Perhitungan *Line Tension* SBM + FSO (*full load condition*)-Intact

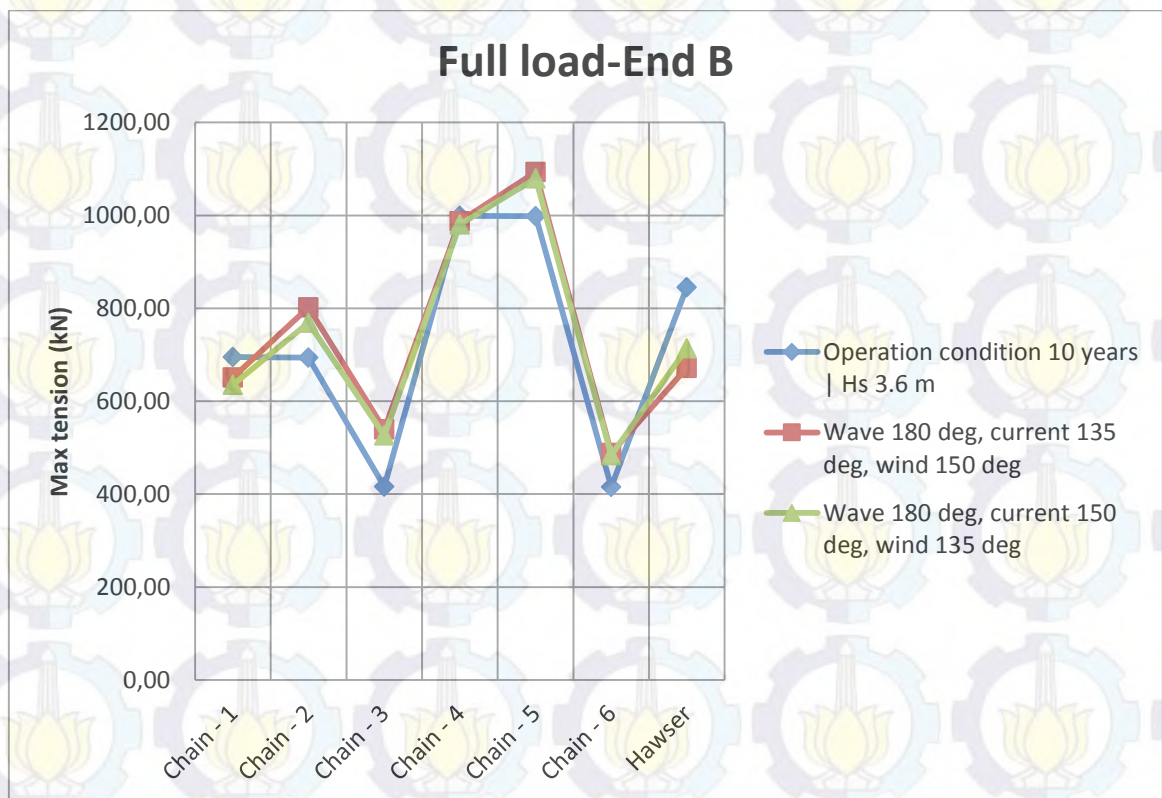
Tabel dibawah ini menunjukan hasil perhitungan *line tension* untuk kondisi gelombang, angin, dan arus tanpa varisasi, serta gelombang, angina, dan arus dengan variasi. End A menunjukan tension pada *buoy* dan End B menunjukan tension pada kapal atau seabed.

Tabel V-5 Line tension SBM+FSO (full load condition)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 1	684.22	695.25	6001	8.63	3	Accepted
	Chain - 2	683.58	694.15	6001	8.65	3	Accepted
	Chain - 3	442.09	416.06	6001	13.57	3	Accepted
	Chain - 4	976.77	999.30	6001	6.01	3	Accepted
	Chain - 5	976.69	998.56	6001	6.01	3	Accepted
	Chain - 6	441.78	415.40	6001	13.58	3	Accepted
	Hawser	832.97	845.21	5876	6.95	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 1	652.43	651.25	6001	9.20	3	Accepted
	Chain - 2	788.98	802.03	6001	7.48	3	Accepted
	Chain - 3	544.48	539.67	6001	11.02	3	Accepted
	Chain - 4	955.42	987.49	6001	6.08	3	Accepted
	Chain - 5	1038.80	1093.40	6001	5.49	3	Accepted
	Chain - 6	503.16	488.54	6001	11.93	3	Accepted
	Hawser	665.36	672.02	5876	8.74	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 1	641.23	635.54	6001	9.36	3	Accepted
	Chain - 2	764.59	769.13	6001	7.80	3	Accepted
	Chain - 3	533.27	526.33	6001	11.25	3	Accepted
	Chain - 4	956.46	980.71	6001	6.12	3	Accepted
	Chain - 5	1032.38	1079.65	6001	5.56	3	Accepted
	Chain - 6	507.80	483.82	6001	11.82	3	Accepted
	Hawser	702.26	713.87	5876	8.23	1.67	Accepted



Grafik V-39 Line tension End A SBM+FSO (full load)



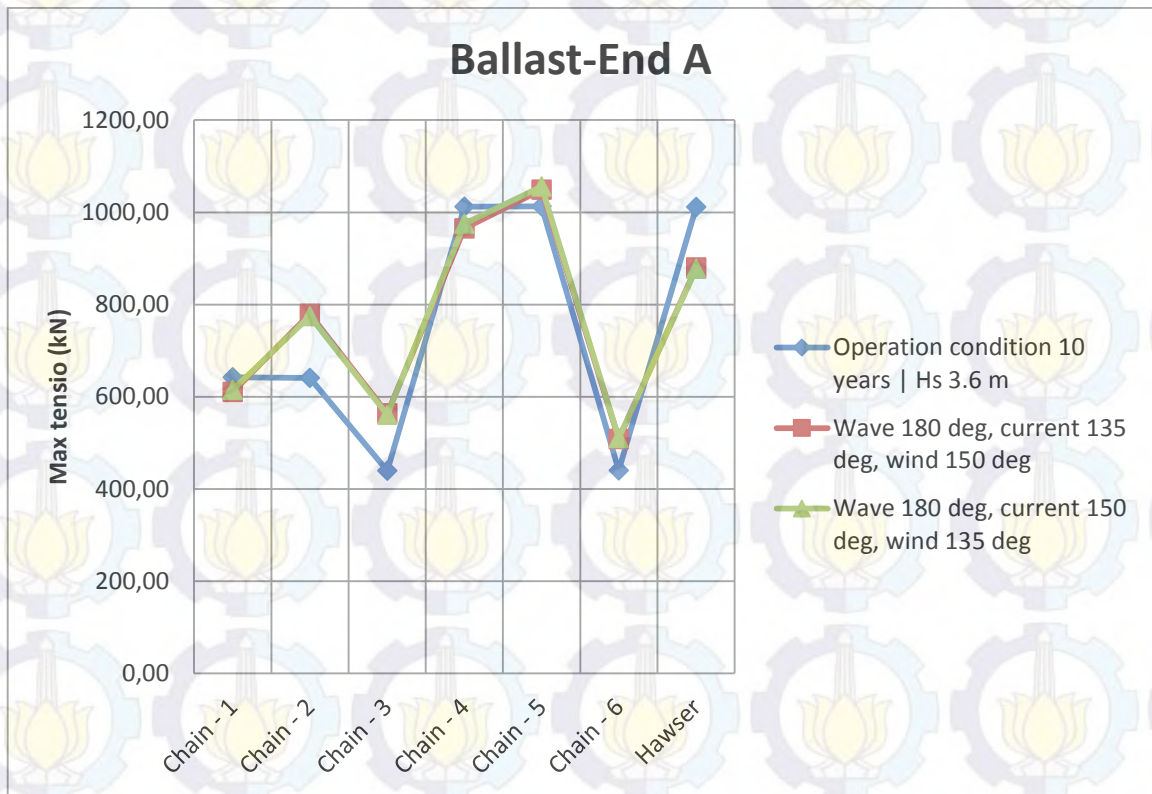
Grafik V-40 Line tension End B SBM+FSO (full load)

V.6.2. Perhitungan *Line Tension* SBM + FSO (*ballast condition*)-Intact

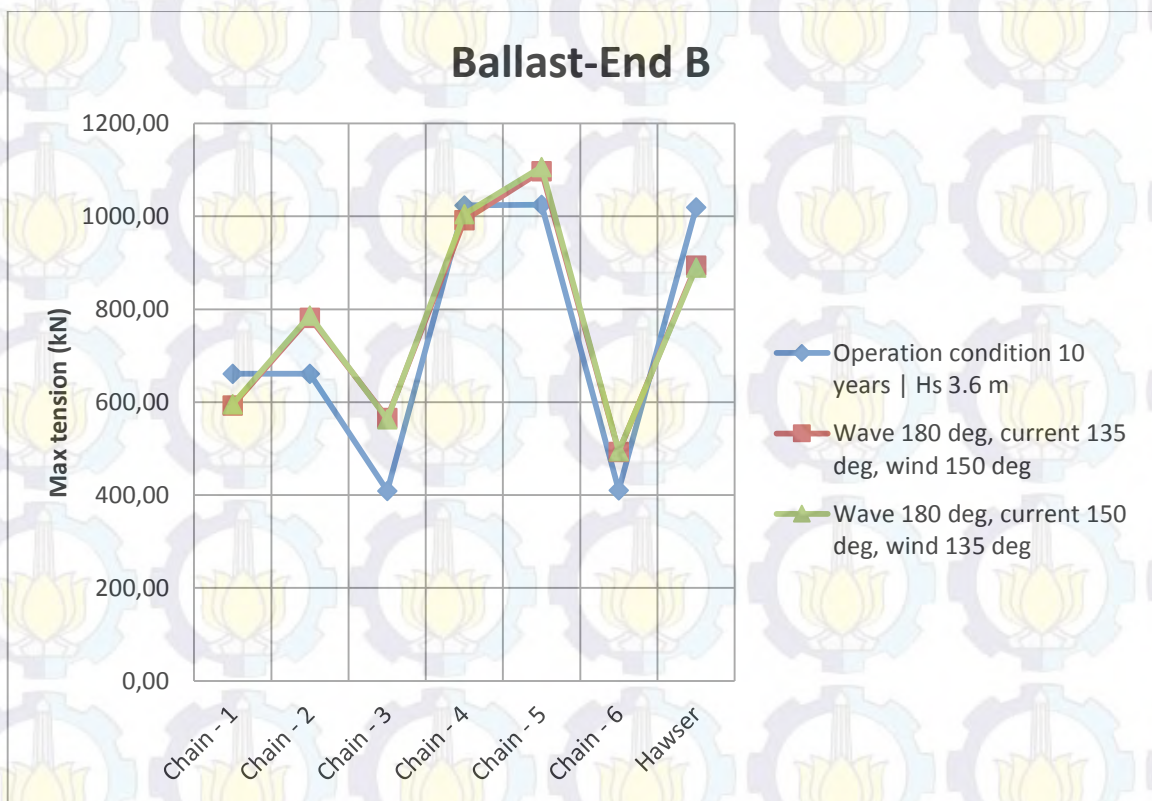
Tabel dibawah ini menunjukan hasil perhitungan *line tension* untuk kondisi gelombang, angin, dan arus tanpa varisasi, serta gelombang, angin, dan arus dengan variasi.

Tabel V-6 Line tension SBM+ FSO (ballast condition)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 1	642.45	661.00	6001	9.08	3	Accepted
	Chain - 2	640.77	661.20	6001	9.08	3	Accepted
	Chain - 3	439.57	409.14	6001	13.65	3	Accepted
	Chain - 4	1012.44	1023.90	6001	5.86	3	Accepted
	Chain - 5	1013.07	1024.82	6001	5.86	3	Accepted
	Chain - 6	440.01	410.16	6001	13.64	3	Accepted
	Hawser	1011.85	1019.4	5876	5.76	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 1	610.03	592.87	6001	9.84	3	Accepted
	Chain - 2	779.71	781.91	6001	7.67	3	Accepted
	Chain - 3	563.97	566.28	6001	10.60	3	Accepted
	Chain - 4	964.70	992.04	6001	6.05	3	Accepted
	Chain - 5	1049.24	1097.43	6001	5.47	3	Accepted
	Chain - 6	508.27	492.94	6001	11.81	3	Accepted
	Hawser	880.28	894.0	5876	6.57	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 1	615.41	595.48	6001	9.75	3	Accepted
	Chain - 2	774.80	786.77	6001	7.63	3	Accepted
	Chain - 3	560.90	563.53	6001	10.65	3	Accepted
	Chain - 4	975.21	1005.25	6001	5.97	3	Accepted
	Chain - 5	1055.95	1106.33	6001	5.42	3	Accepted
	Chain - 6	510.23	494.55	6001	11.76	3	Accepted
	Hawser	877.52	890.25	5876	6.60	1.67	Accepted



Grafik V-41 Line tension End A SBM+FSO (ballast)



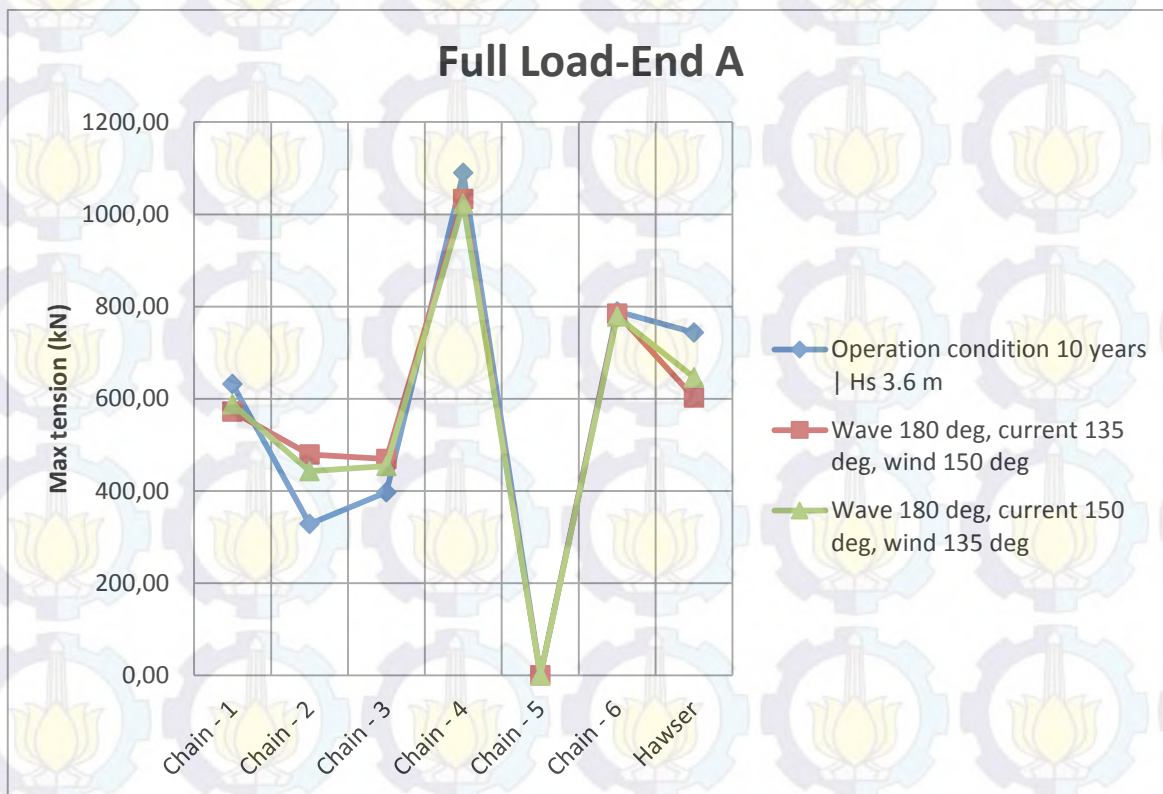
Grafik V-42 Line tension End B SBM+FSO (ballast)

V.6.3. Perhitungan *Line Tension* SBM + FSO (*full load condition*)-Damage

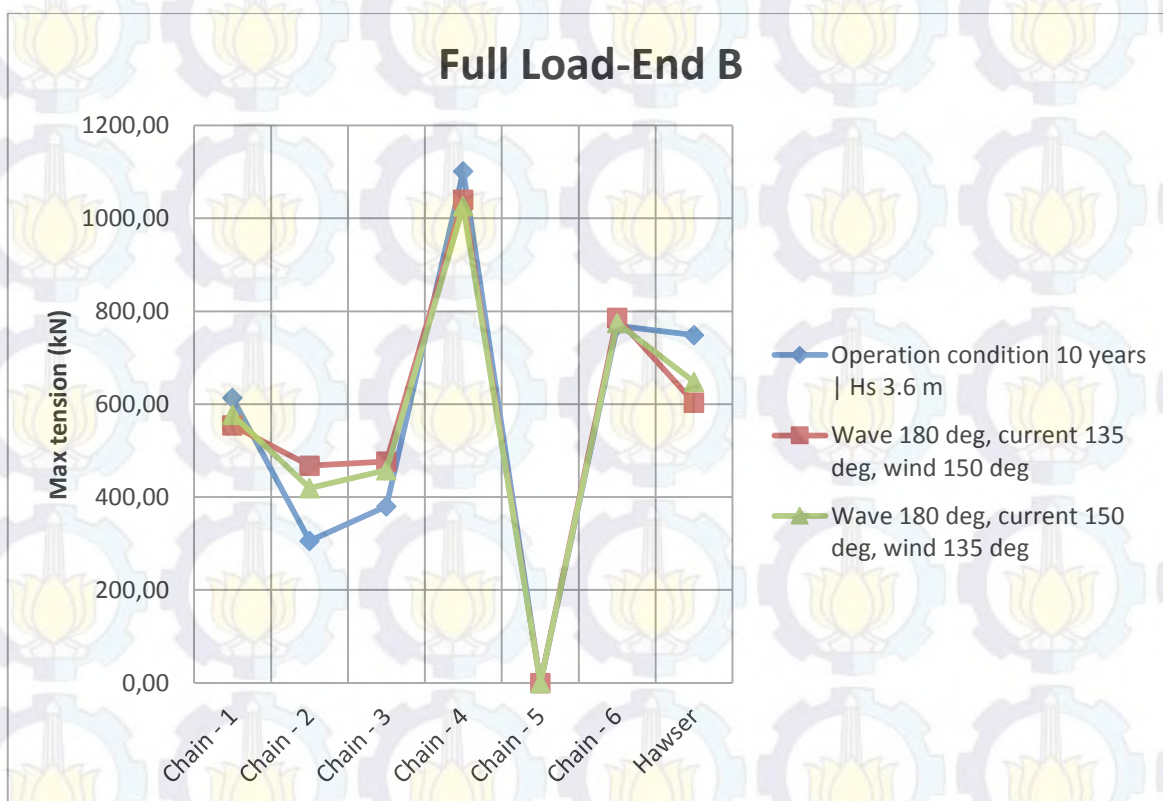
Tabel dibawah ini menunjukan hasil perhitungan *line tension* untuk kondisi gelombang, angin, dan arus tanpa varisasi, serta gelombang, angin, dan arus dengan variasi.

Tabel V-7 Line tension SBM+FSO (full load)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 1	631.71	613.84	6001	9.50	2	Accepted
	Chain - 2	328.71	305.54	6001	18.26	2	Accepted
	Chain - 3	397.45	379.77	6001	15.10	2	Accepted
	Chain - 4	1089.94	1101.35	6001	5.45	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	789.68	768.91	6001	7.60	2	Accepted
	Hawser	743.69	748.78	5876	7.85	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 1	572.38	554.28	6001	10.48	2	Accepted
	Chain - 2	479.41	467.39	6001	12.52	2	Accepted
	Chain - 3	469.73	476.39	6001	12.60	2	Accepted
	Chain - 4	1032.85	1040.08	6001	5.77	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	784.68	785.95	6001	7.64	2	Accepted
	Hawser	602.93	603.38	5876	9.74	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 1	588.08	576.90	6001	10.20	2	Accepted
	Chain - 2	442.85	419.34	6001	13.55	2	Accepted
	Chain - 3	454.31	457.76	6001	13.11	2	Accepted
	Chain - 4	1022.49	1026.65	6001	5.85	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	778.39	774.80	6001	7.71	2	Accepted
	Hawser	646.21	647.81	5876	9.07	1.67	Accepted



Grafik V-43 Line tension End A SBM+FSO (full load)



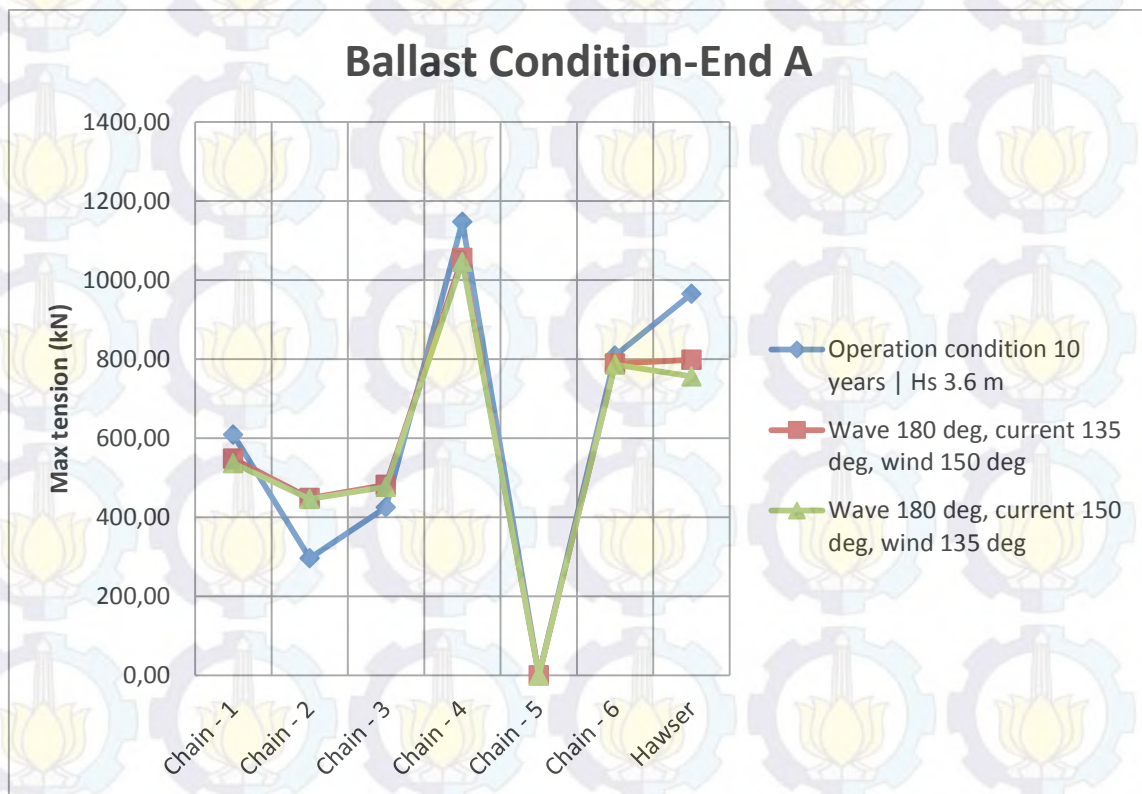
Grafik V-44 Line tension End B SBM+FSO (ballast)

V.6.4. Perhitungan *Line Tension* SBM + FSO (*ballast condition*)-Damage

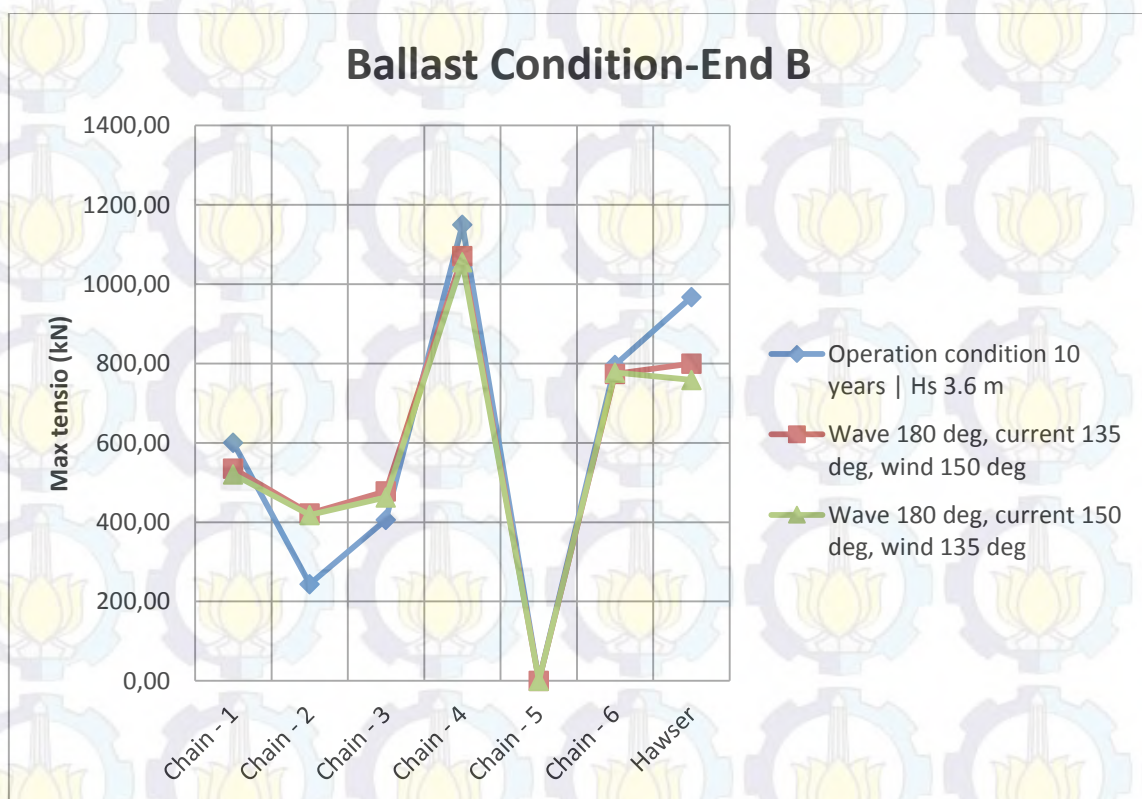
Tabel dibawah ini menunjukan hasil perhitungan *line tension* untuk kondisi gelombang, angin, dan arus tanpa varisasi, serta gelombang, angin, dan arus dengan variasi.

Tabel V-8 Line tension SBM+FSO (ballast)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 1	609.41	600.86	6001	9.85	2	Accepted
	Chain - 2	297.06	243.73	6001	20.20	2	Accepted
	Chain - 3	425.41	405.76	6001	14.11	2	Accepted
	Chain - 4	1147.91	1149.71	6001	5.22	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	809.35	796.32	6001	7.41	2	Accepted
	Hawser	965.87	967.74	5876	6.07	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 1	548.80	535.42	6001	10.93	2	Accepted
	Chain - 2	448.73	422.31	6001	13.37	2	Accepted
	Chain - 3	481.94	478.18	6001	12.45	2	Accepted
	Chain - 4	1056.34	1071.18	6001	5.60	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	789.04	773.86	6001	7.61	2	Accepted
	Hawser	798.37	799.57	5876	7.35	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 1	537.52	520.59	6001	11.16	2	Accepted
	Chain - 2	446.82	418.23	6001	13.43	2	Accepted
	Chain - 3	476.89	462.45	6001	12.58	2	Accepted
	Chain - 4	1046.63	1055.74	6001	5.68	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	786.63	776.83	6001	7.63	2	Accepted
	Hawser	756.47	758.75	5876	7.74	1.67	Accepted



Grafik V-45 Line tension End A SBM+FSO (ballast)



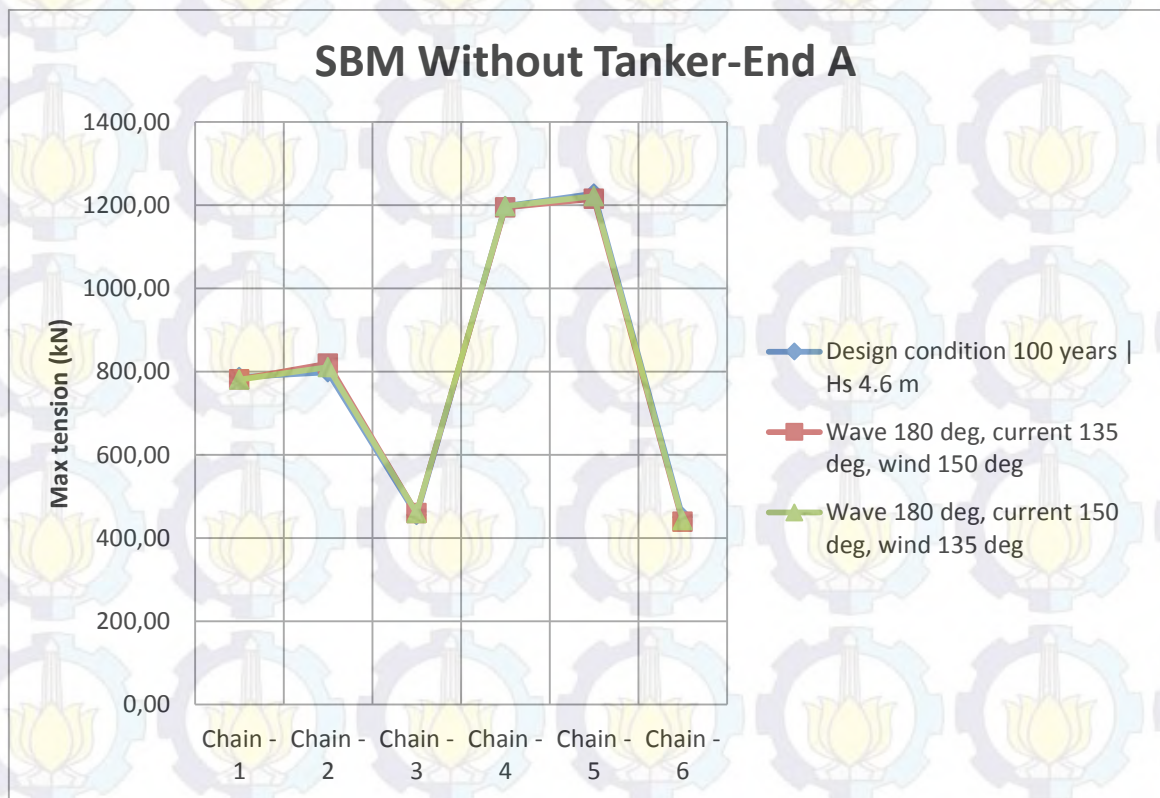
Grafik V-46 Line tension End B SBM+FSO (ballast)

V.6.5. Perhitungan *Line Tension SBM without Tanker -Intact*

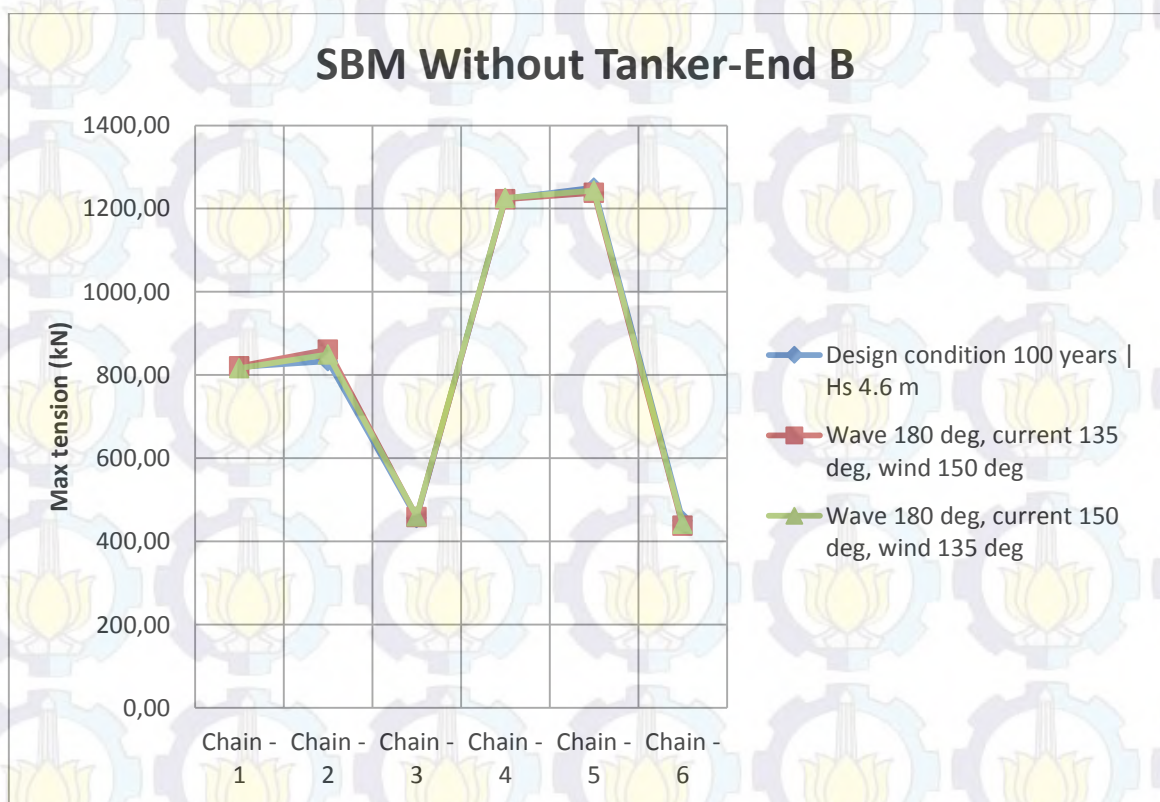
Tabel dibawah ini menunjukan hasil perhitungan *line tension* untuk kondisi gelombang, angin, dan arus tanpa varisasi, serta gelombang, angina, dan arus dengan variasi.

Tabel V-9 Line tension SBM without Tanker

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Design condition 100 years Hs 4.6 m	Chain - 1	787.51	819.64	5369	6.55	2.5	Accepted
	Chain - 2	798.47	833.09	5369	6.45	2.5	Accepted
	Chain - 3	455.78	456.45	5369	11.76	2.5	Accepted
	Chain - 4	1198.19	1224.18	5369	4.39	2.5	Accepted
	Chain - 5	1228.31	1250.39	5369	4.29	2.5	Accepted
	Chain - 6	449.82	450.43	5369	11.92	2.5	Accepted
Non Collinear-Design Condition (100 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 1	781.56	820.73	5369	6.54	3	Accepted
	Chain - 2	819.24	861.14	5369	6.24	3	Accepted
	Chain - 3	460.10	458.99	5369	11.67	3	Accepted
	Chain - 4	1195.15	1222.71	5369	4.39	3	Accepted
	Chain - 5	1215.31	1238.08	5369	4.34	3	Accepted
	Chain - 6	439.27	437.80	5369	12.22	3	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 1	781.03	816.49	5369	6.58	3	Accepted
	Chain - 2	811.07	849.85	5369	6.32	3	Accepted
	Chain - 3	460.39	460.15	5369	11.66	3	Accepted
	Chain - 4	1198.32	1225.58	5369	4.38	3	Accepted
	Chain - 5	1221.51	1243.56	5369	4.32	3	Accepted
	Chain - 6	443.12	442.58	5369	12.12	3	Accepted



Grafik V-47 Line tension End A SBM without *tanker*



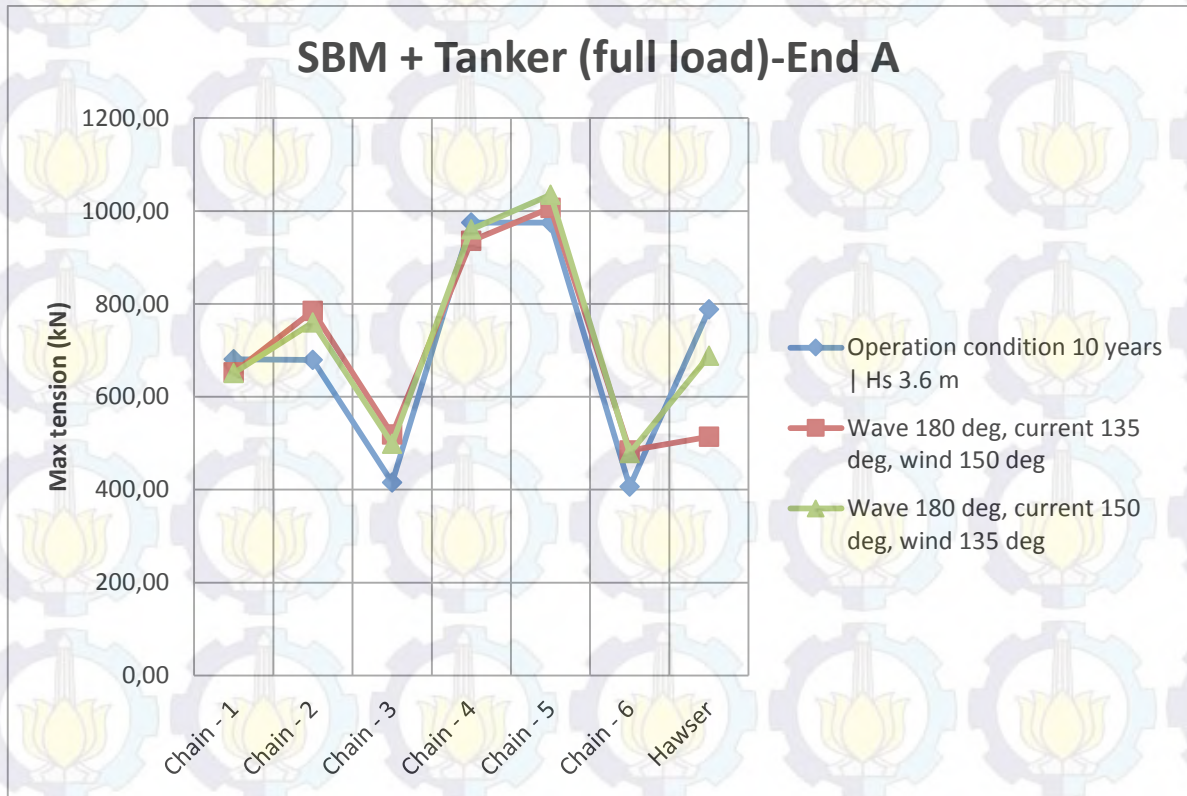
Grafik V-48 Line tension End B SBM without *Tanker*

V.6.6. Perhitungan *Line Tension* SBM+Tanker (full load) -Intact

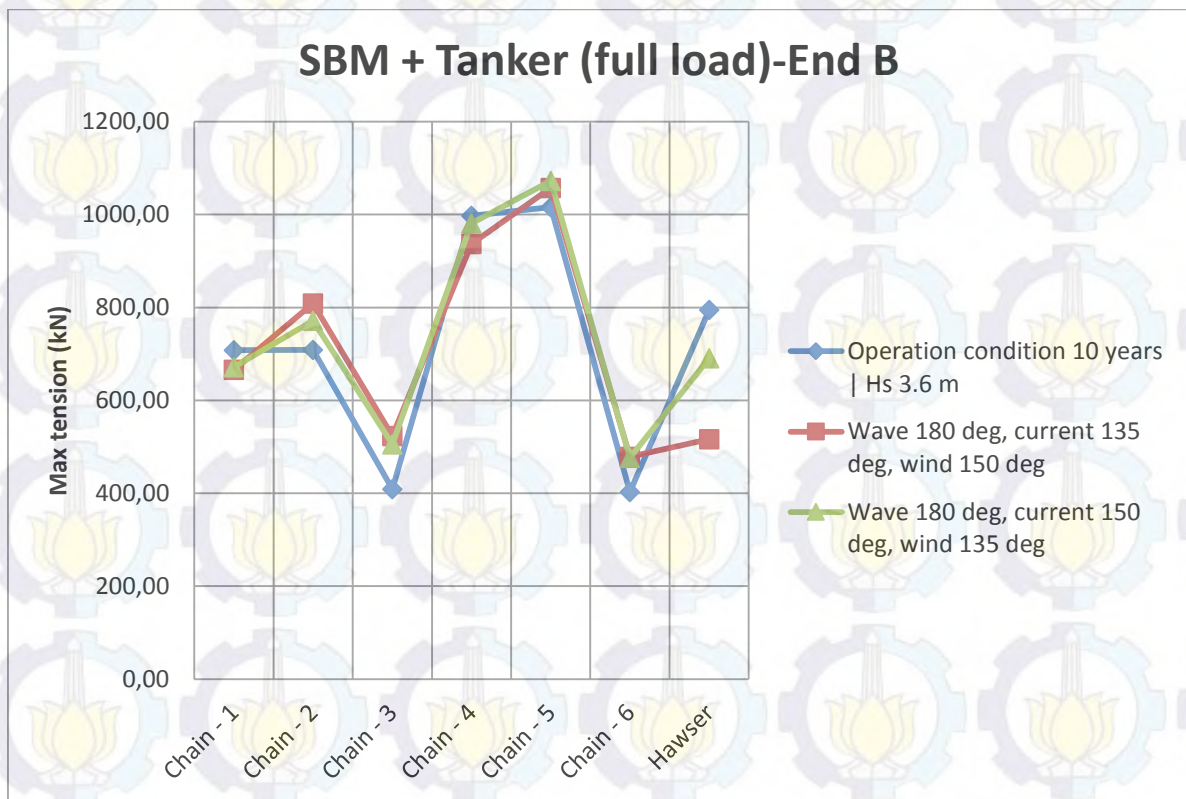
Tabel dibawah ini menunjukan hasil perhitungan *line tension* untuk kondisi gelombang, angin, dan arus tanpa varisasi, serta gelombang, angina, dan arus dengan variasi.

Tabel V-10 Line tension SBM+Tanker (Full load)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 1	680.63	708.10	5369	7.58	3	Accepted
	Chain - 2	679.62	708.40	5369	7.58	3	Accepted
	Chain - 3	415.57	408.97	5369	12.92	3	Accepted
	Chain - 4	975.29	997.22	5369	5.38	3	Accepted
	Chain - 5	974.75	1015.75	5369	5.29	3	Accepted
	Chain - 6	406.56	402.57	5369	13.21	3	Accepted
	Hawser	788.51	794.95	5876	7.39	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 1	652.72	665.81	5369	8.06	3	Accepted
	Chain - 2	784.49	808.49	5369	6.64	3	Accepted
	Chain - 3	519.06	523.32	5369	10.26	3	Accepted
	Chain - 4	935.54	936.75	5369	5.73	3	Accepted
	Chain - 5	1006.99	1057.62	5369	5.08	3	Accepted
	Chain - 6	484.24	478.35	5369	11.09	3	Accepted
	Hawser	513.88	516.38	5876	11.38	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 1	651.35	671.74	5369	7.99	3	Accepted
	Chain - 2	760.30	771.45	5369	6.96	3	Accepted
	Chain - 3	498.85	505.23	5369	10.63	3	Accepted
	Chain - 4	960.23	981.14	5369	5.47	3	Accepted
	Chain - 5	1034.62	1072.33	5369	5.01	3	Accepted
	Chain - 6	479.19	476.28	5369	11.20	3	Accepted
	Hawser	688.39	690.68	5876	8.51	1.67	Accepted



Grafik V-49 Line tension SBM+Tanker (full load)



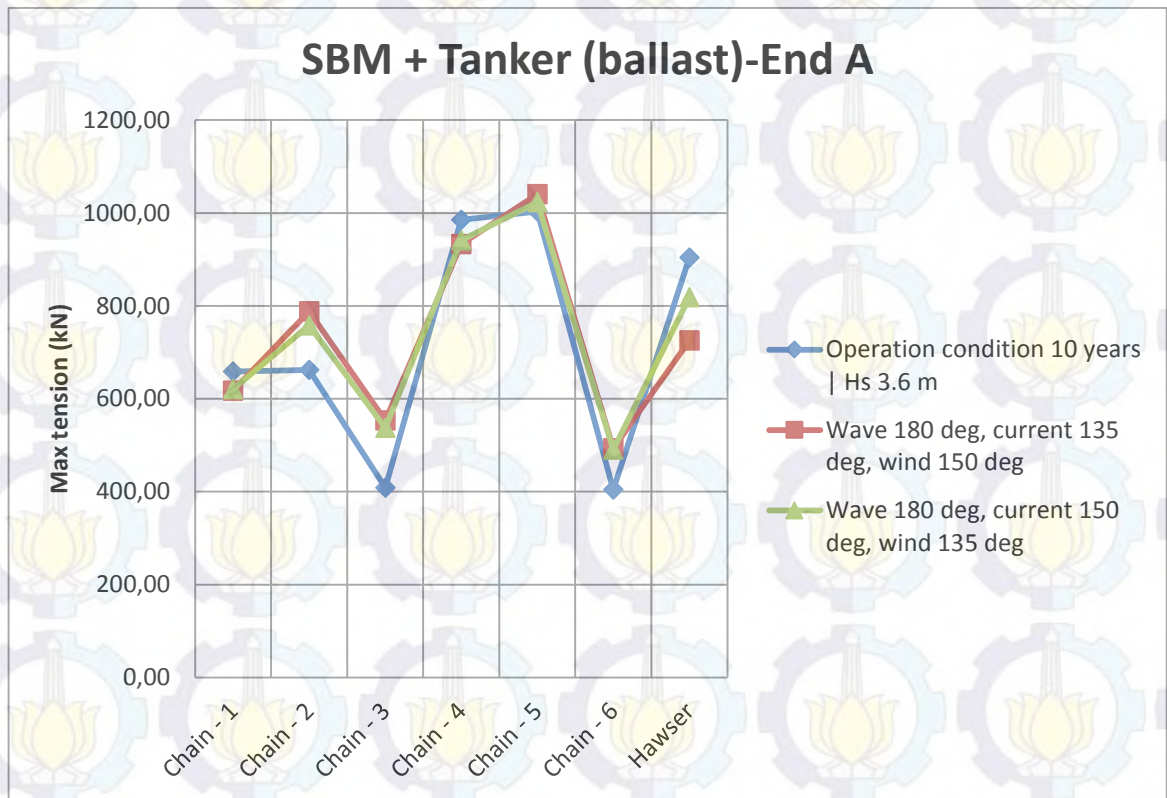
Grafik V-50 Line tension End B SBM+Tanker (full load)

V.6.7. Perhitungan *Line Tension SBM+Tanker (ballast load) -Intact*

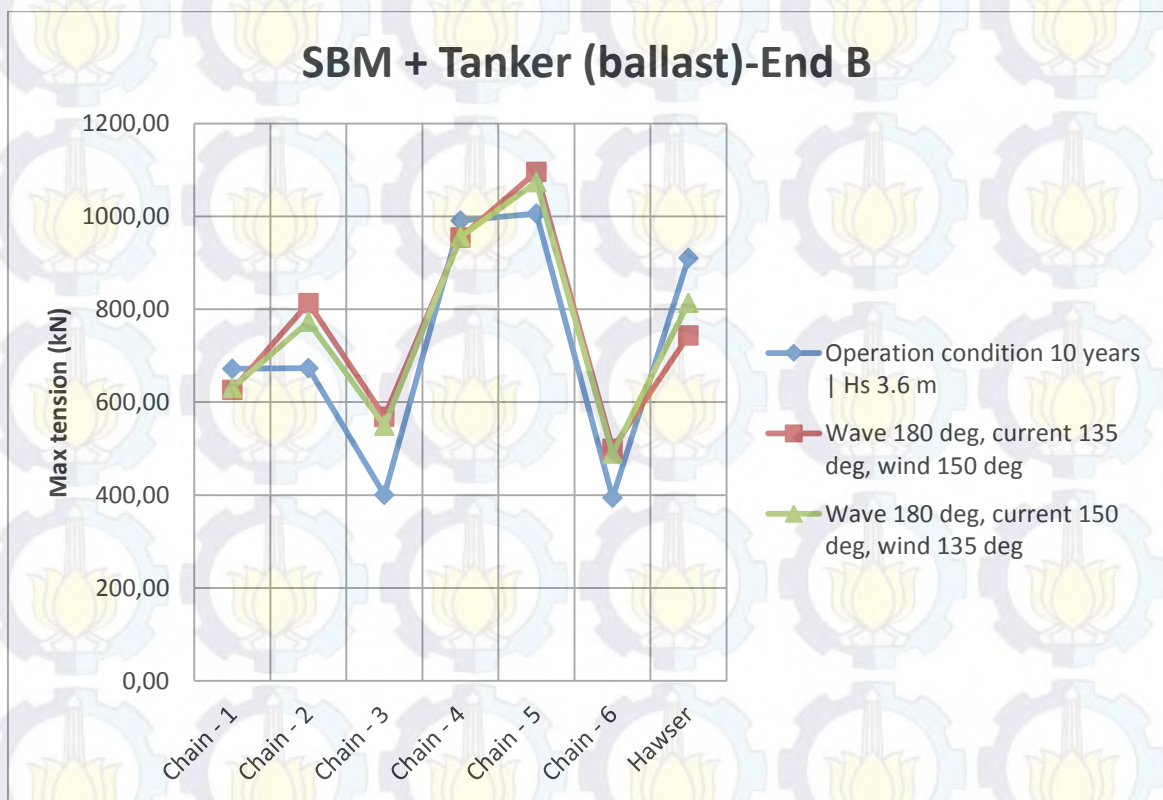
Tabel dibawah ini menunjukan hasil perhitungan *line tension* untuk kondisi gelombang, angin, dan arus tanpa varisasi, serta gelombang, angina, dan arus dengan variasi.

Tabel V-11 Line tension SBM+Tanker (ballast)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 1	658.92	671.70	5369	7.99	3	Accepted
	Chain - 2	662.04	673.55	5369	7.97	3	Accepted
	Chain - 3	408.77	400.21	5369	13.14	3	Accepted
	Chain - 4	985.06	990.79	5369	5.42	3	Accepted
	Chain - 5	1003.00	1006.09	5369	5.34	3	Accepted
	Chain - 6	404.36	394.37	5369	13.28	3	Accepted
	Hawser	904.23	910.17	5876	6.46	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 1	617.04	626.19	5369	8.57	3	Accepted
	Chain - 2	788.36	813.38	5369	6.60	3	Accepted
	Chain - 3	553.29	568.84	5369	9.44	3	Accepted
	Chain - 4	933.14	954.34	5369	5.63	3	Accepted
	Chain - 5	1040.38	1095.51	5369	4.90	3	Accepted
	Chain - 6	493.07	499.54	5369	10.75	3	Accepted
	Hawser	725.81	743.58	5876	7.90	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 1	620.85	630.25	5369	8.52	3	Accepted
	Chain - 2	758.25	772.86	5369	6.95	3	Accepted
	Chain - 3	537.11	549.15	5369	9.78	3	Accepted
	Chain - 4	941.53	955.43	5369	5.62	3	Accepted
	Chain - 5	1023.50	1073.43	5369	5.00	3	Accepted
	Chain - 6	490.79	489.43	5369	10.94	3	Accepted
	Hawser	818.42	813.94	5876	7.18	1.67	Accepted



Grafik V-51 Line tension End A SBM+Tanker (ballast)



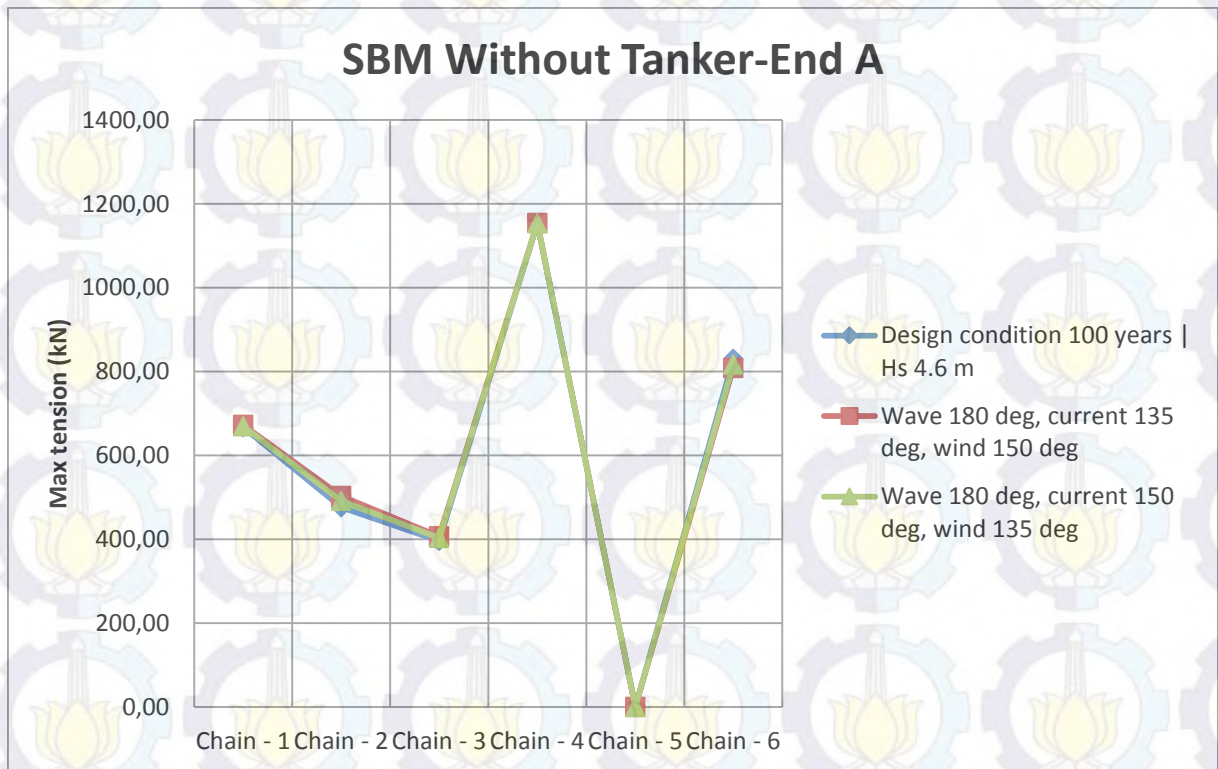
Grafik V-52 Line tension End B SBM+Tanker (ballast)

V.6.8. Perhitungan *Line tension* SBM without *Tanker -Damage*

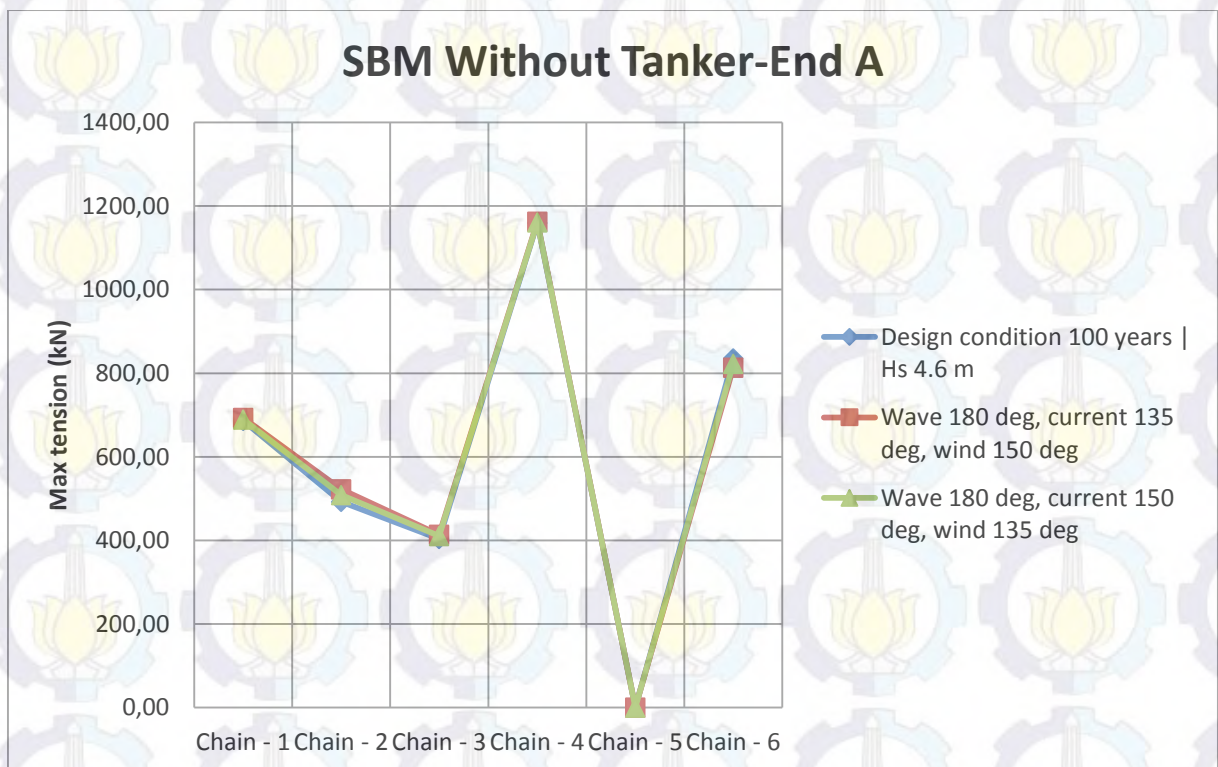
Tabel dibawah ini menunjukan hasil perhitungan *line tension* untuk kondisi gelombang, angin, dan arus tanpa varisasi, serta gelombang, angina, dan arus dengan variasi.

Tabel V-12 Line Tension SBM without *tanker*

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Design condition 100 years Hs 4.6 m	Chain - 1	667.78	686.54	5369	7.82	2	Accepted
	Chain - 2	476.93	492.19	5369	10.91	2	Accepted
	Chain - 3	396.41	403.56	5369	13.30	2	Accepted
	Chain - 4	1152.66	1159.72	5369	4.63	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	830.146973	835.63013	5876	7.03	2	Accepted
Non Collinear-Design Condition (100 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 1	672.65	693.03	5369	7.75	2	Accepted
	Chain - 2	503.46	522.41	5369	10.28	2	Accepted
	Chain - 3	406.80	413.54	5369	12.98	2	Accepted
	Chain - 4	1154.35	1162.74	5369	4.62	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	808.51	813.04	5876.00	7.23	2	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 1	669.76	689.14	5369	7.79	2	Accepted
	Chain - 2	491.63	508.74	5369	10.55	2	Accepted
	Chain - 3	403.42	410.45	5369	13.08	2	Accepted
	Chain - 4	1153.60	1161.31	5369	4.62	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	817.33	822.22	5876.00	7.15	2	Accepted



Grafik V-53 Line tension End A SBM without *tanker*



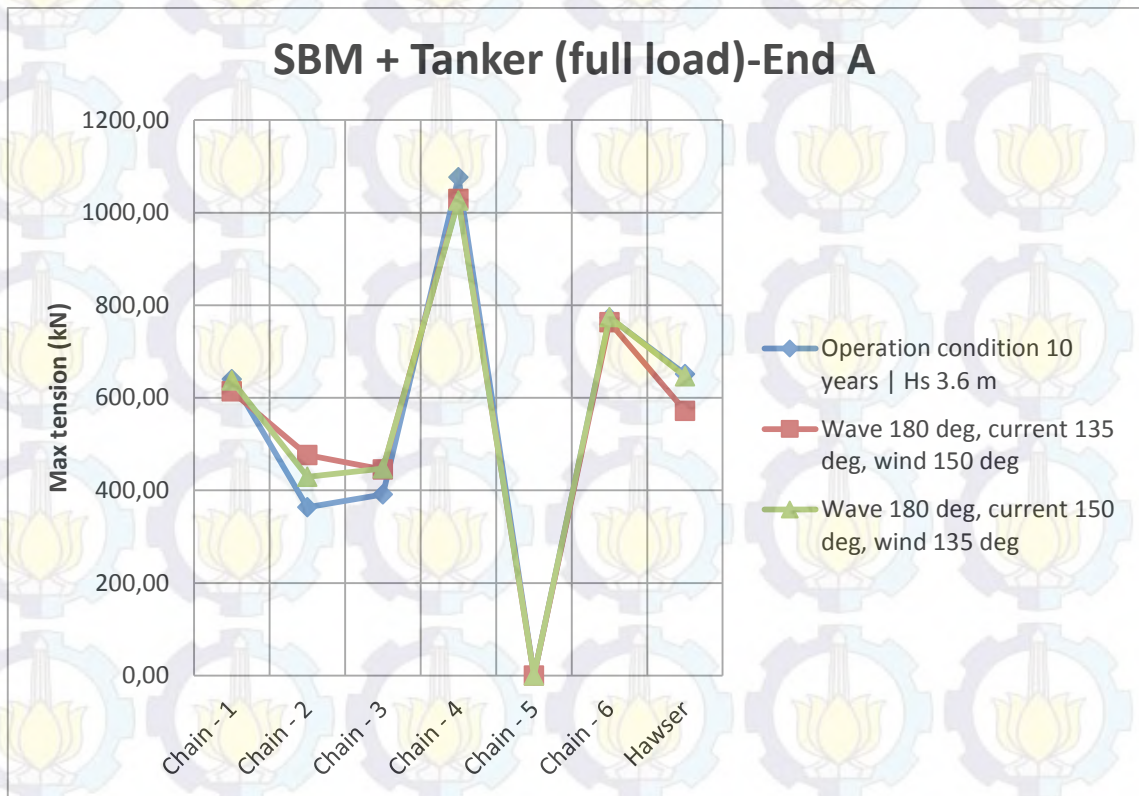
Grafik V-54 Line tension End B SBM without *tanker*

V.6.9. Perhitungan *Line Tension* SBM+Tanker (full load) -Damage

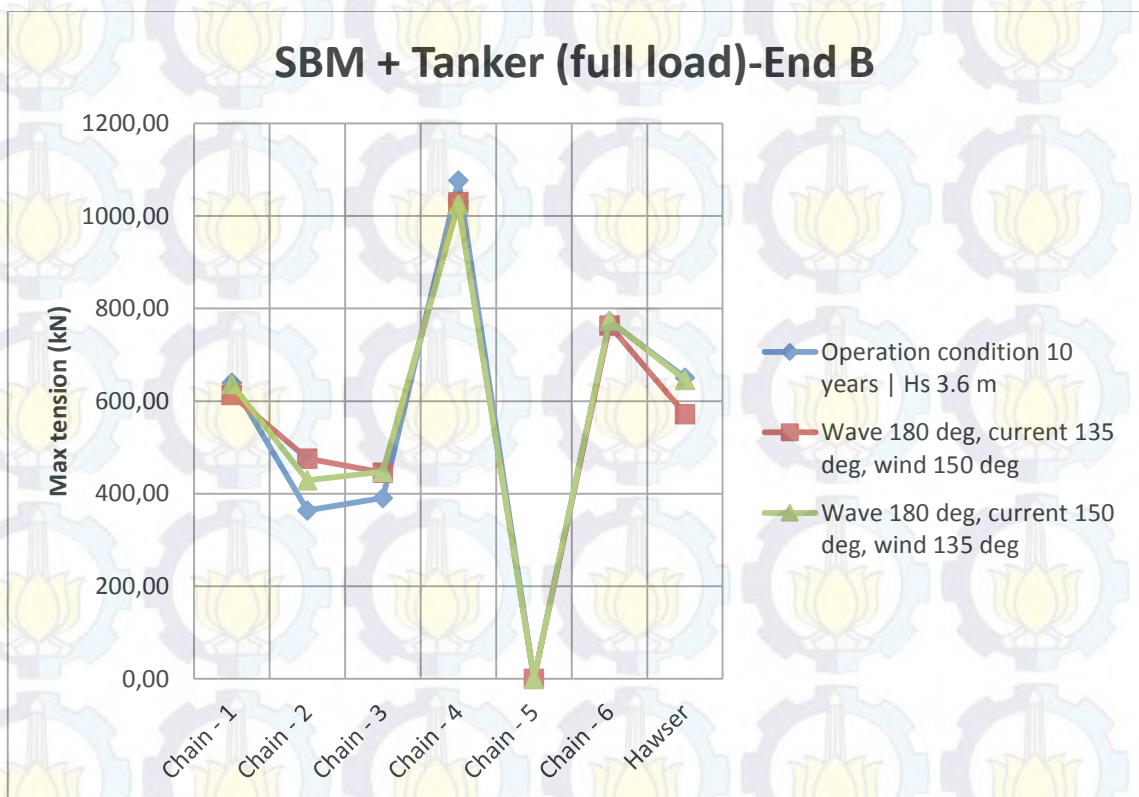
Tabel dibawah ini menunjukan hasil perhitungan *line tension* untuk kondisi gelombang, angin, dan arus tanpa varisasi, serta gelombang, angina, dan arus dengan variasi.

Tabel V-13Line tension SBM+Tanker (full load)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 1	626.51	640.25	5369	8.39	2	Accepted
	Chain - 2	371.39	363.76	5369	14.46	2	Accepted
	Chain - 3	390.59	391.22	5369	13.72	2	Accepted
	Chain - 4	1066.72	1076.73	5369	4.99	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	769.94	772.76	5369	6.95	2	Accepted
	Hawser	647.34	650.91	5876	9.03	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 1	584.10	613.63	5369	8.75	2	Accepted
	Chain - 2	469.98	476.35	5369	11.27	2	Accepted
	Chain - 3	435.06	445.30	5369	12.06	2	Accepted
	Chain - 4	1025.55	1029.67	5369	5.21	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	760.41	763.45	5369	7.03	2	Accepted
	Hawser	569.38	572.04	5876	10.27	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 1	605.05	637.20	5369	8.43	2	Accepted
	Chain - 2	422.23	429.19	5369	12.51	2	Accepted
	Chain - 3	438.34	447.33	5369	12.00	2	Accepted
	Chain - 4	1018.96	1025.75	5369	5.23	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	759.12	774.27	5369	6.93	2	Accepted
	Hawser	644.19	646.24	5876.19	9.09	1.67	Accepted



Grafik V-55 Line tension End A SBM+tanker



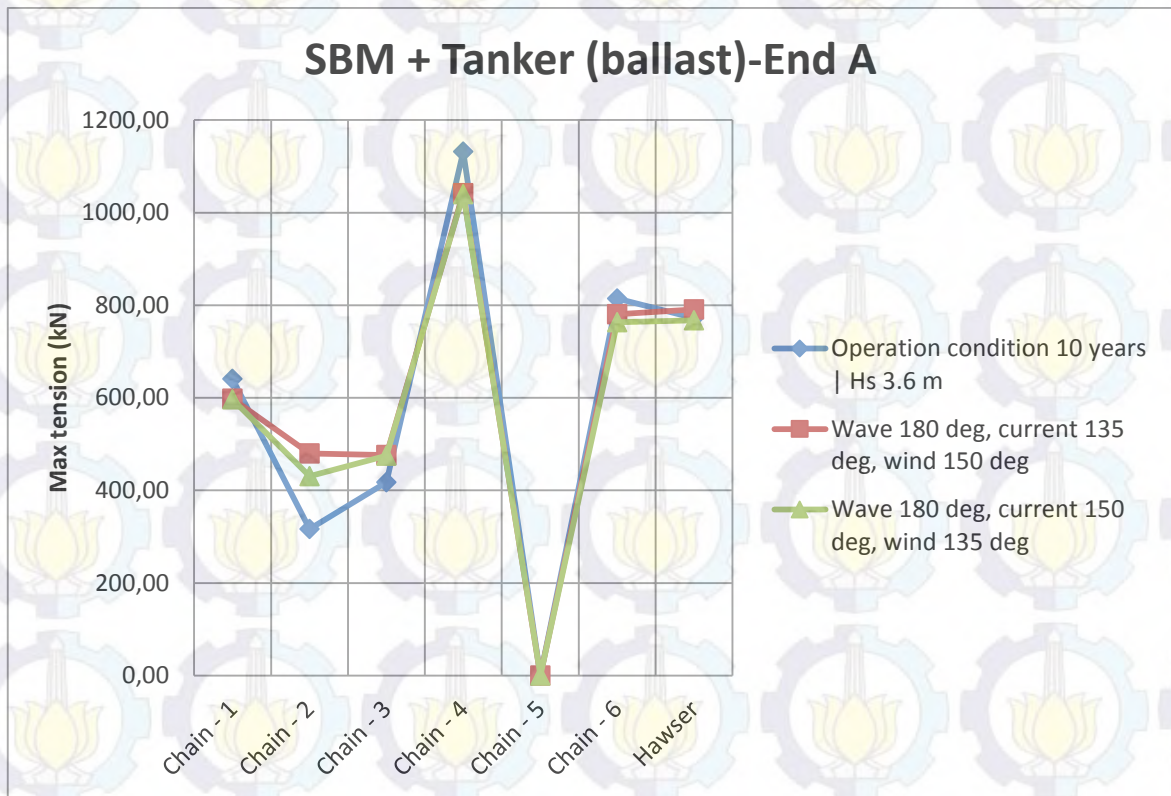
Grafik V-56 Line tension End B SBM+tanker

V.6.10. Perhitungan *Line Tension* SBM+Tanker (Ballast) -Damage

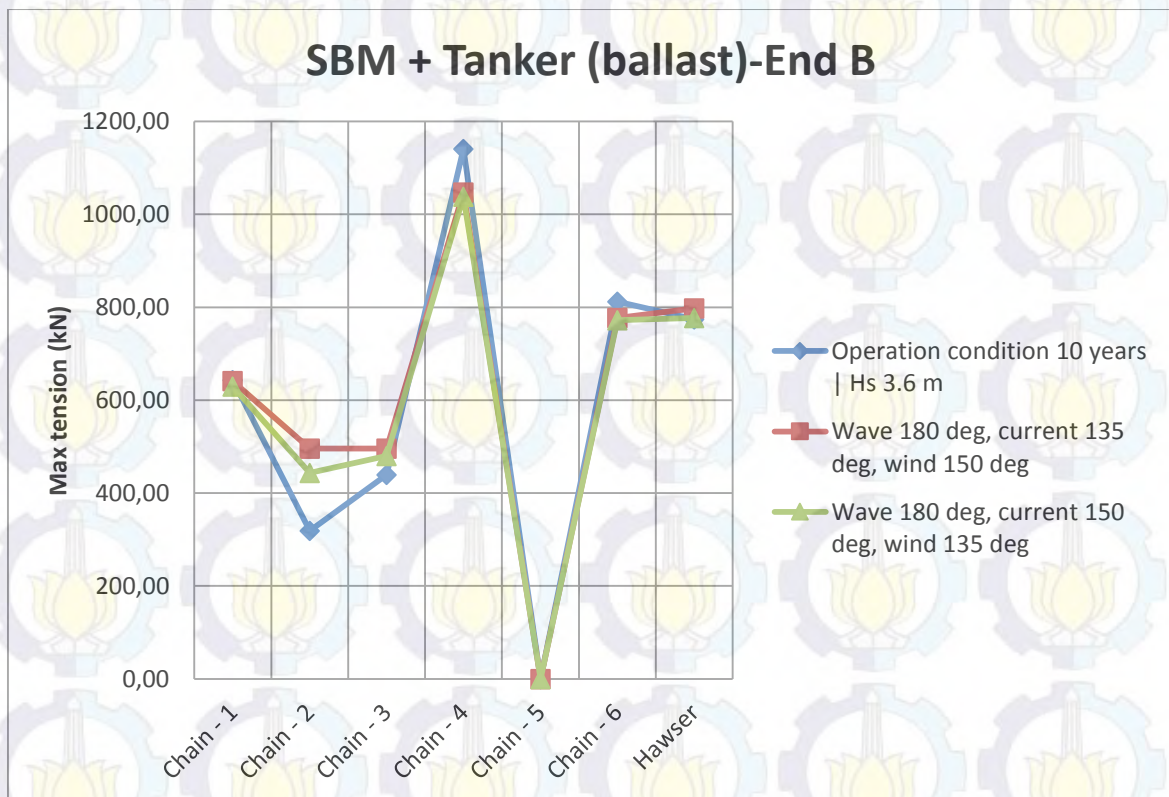
Tabel dibawah ini menunjukan hasil perhitungan *line tension* untuk kondisi gelombang, angin, dan arus tanpa varisasi, serta gelombang, angin, dan arus dengan variasi.

Tabel V-14 Line tension SBM+tanker

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 1	640.93	643.45	5369	8.34	2	Accepted
	Chain - 2	316.24	318.51	5369	16.86	2	Accepted
	Chain - 3	417.45	439.39	5369	12.22	2	Accepted
	Chain - 4	1132.01	1140.92	5369	4.71	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	814.15	811.92	5369	6.59	2	Accepted
	Hawser	771.96	773.87	5876	7.59	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 1	598.21	641.21	5369	8.37	2	Accepted
	Chain - 2	479.62	495.85	5369	10.83	2	Accepted
	Chain - 3	476.05	495.69	5369	10.83	2	Accepted
	Chain - 4	1041.92	1047.09	5369	5.13	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	780.49	776.75	5369	6.88	2	Accepted
	Hawser	791.0	797.6	5876.00	7.37	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 1	596.76	629.57	5369	8.53	2	Accepted
	Chain - 2	430.80	443.45	5369	12.11	2	Accepted
	Chain - 3	475.05	479.67	5369	11.19	2	Accepted
	Chain - 4	1039.52	1038.28	5369	5.17	2	Accepted
	Chain - 5	-	-	Release			
	Chain - 6	763.06	772.42	5369	6.95	2	Accepted
	Hawser	767.7	777.09	5876.00	7.56	1.67	Accepted



Grafik V-57 Line tension End A SBM+tanker



Grafik V-58 Line tension End B SBM+Tanker

V.7. Nilai Maksimum Tension Chain dan Hawser

Pada subbab ini akan dijabarkan nilai maksimum tension dari chain dan hawser pada semua kondisi yang telah dianalisa pada sub bab V.5. Hasil ditampilkan berupa tabel dibawah ini:

- SBM + FSO (Intact)

Tabel V-15 Maximum line tension SBM+FSO (intact)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
FULL LOAD							
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 4	976.77	999.30	6001	6.01	3	Accepted
	Hawser	832.97	845.21	5876	6.95	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 5	1038.80	1093.40	6001	5.49	3	Accepted
	Hawser	665.36	672.02	5876	8.74	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 5	1032.38	1079.65	6001	5.56	3	Accepted
	Hawser	702.26	713.87	5876	8.23	1.67	Accepted
BALLAST							
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 5	1013.07	1024.82	6001	5.86	3	Accepted
	Hawser	1011.85	1019.4	5876	5.76	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 5	1049.24	1097.43	6001	5.47	3	Accepted
	Hawser	880.28	894.0	5876	6.57	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 5	1055.95	1106.33	6001	5.42	3	Accepted
	Hawser	877.52	890.25	5876	6.60	1.67	Accepted

- SBM + FSO (Damage)

Tabel V-16 Maximum line tension SBM+FSO (damage)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
FULL LOAD							
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 4	1089.94	1101.35	6001	5.45	2	Accepted
	Hawser	743.69	748.78	5876	7.85	1.67	Accepted
BALLAST							
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 4	1032.85	1040.08	6001	5.77	2	Accepted
	Hawser	602.93	603.38	5876	9.74	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 4	1022.49	1026.65	6001	5.85	2	Accepted
	Hawser	646.21	647.81	5876	9.07	1.67	Accepted

- SBM without shuttle *tanker* (Intact)

Tabel V-17 Maximum tension line SBM without shuttle *tanker* (intact)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Design condition 100 years Hs 4.6 m	Chain - 5	1228.31	1250.39	5369	4.29	2.5	Accepted
Non Collinear-Design Condition (100 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 5	1215.31	1238.08	5369	4.34	3	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 5	1221.51	1243.56	5369	4.32	3	Accepted

- SBM + shuttle *tanker* (Intact)

Tabel V-18 Maximum tension line SBM+shuttle *tanker* (intact)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
FULL LOAD							
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 5	974.75	1015.75	5369	5.29	3	Accepted
	Hawser	788.51	794.95	5867	7.38	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 5	1006.99	1057.62	5369	5.08	3	Accepted
	Hawser	513.88	516.38	5867	11.36	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 5	1034.62	1072.33	5369	5.01	3	Accepted
	Hawser	688.39	690.68	5867	8.49	1.67	Accepted
BALLAST							
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 5	1003.00	1006.09	5369	5.34	3	Accepted
	Hawser	904.23	910.17	5867	6.45	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 5	1040.38	1095.51	5369	4.90	3	Accepted
	Hawser	725.81	743.58	5867	7.89	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 5	1023.50	1073.43	5369	5.00	3	Accepted
	Hawser	818.42	813.94	5867	7.17	1.67	Accepted

- SBM without shuttle *tanker* (Damage)

Tabel V-19 Maximum tension line SBM without shuttle *tanker* (damage)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
Collinear							
Design condition 100 years Hs 4.6 m	Chain - 4	1152.66	1159.72	5369	4.63	2	Accepted
Non Collinear-Design Condition (100 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 4	1154.35	1162.74	5369	4.62	2	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 4	1153.60	1161.31	5369	4.62	2	Accepted

- SBM + shuttle *tanker* (Damage)

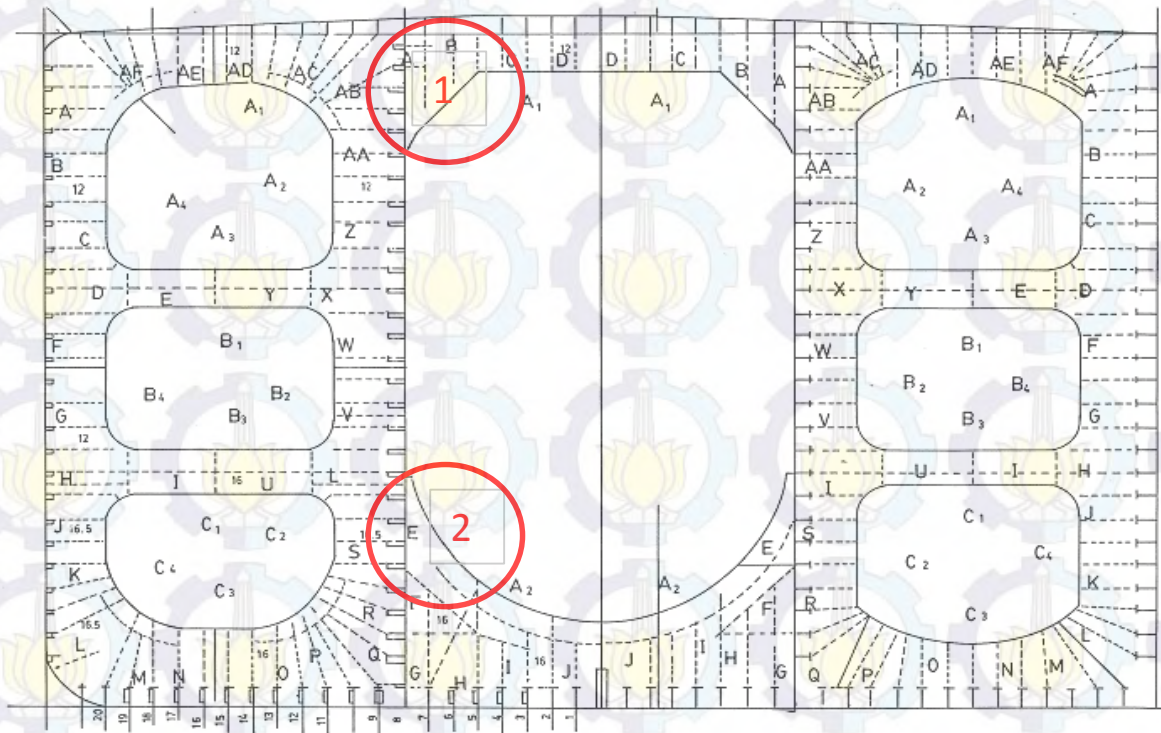
Tabel V-20 Maximum tension line SBM + shuttle *tanker* (damage)

CASE	MOORING LINE	Maximum Tension (kN)		Catalog Breaking Strength CBS (kN)	Actual Safety Factor	Allowable Safety Factor (ABS) ULS	Remarks
		END A	END B				
FULL LOAD							
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 4	1066.72	1076.73	5369	4.99	2	Accepted
	Hawser	647.34	650.91	5867	9.01	1.67	Accepted
Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 4	1025.55	1029.67	5369	5.21	2	Accepted
	Hawser	569.38	572.04	5867	10.26	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 4	1018.96	1025.75	5369	5.23	2	Accepted
	Hawser	644.19	646.24	5867	9.08	1.67	Accepted
BALLAST							
Collinear							
Operation condition 10 years Hs 3.6 m	Chain - 4	1132.01	1140.92	5369	4.71	2	Accepted
	Hawser	771.96	773.87	5867	7.58	1.67	Accepted

Non Collinear-Operation Condition (10 years)							
Wave 180 deg, current 135 deg, wind 150 deg	Chain - 4	1041.92	1047.09	5369	5.13	2	Accepted
	Hawser	791.0	797.6	5876	7.37	1.67	Accepted
Wave 180 deg, current 150 deg, wind 135 deg	Chain - 4	1039.52	1038.28	5369	5.16	2	Accepted
	Hawser	767.7	777.09	5867.00	7.55	1.67	Accepted

V.8. Perhitungan Fatigue Life FSO

Perhitungan *fatigue assessment* pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui umur kelelahan sambungan (*bracket*). *Fatigue assessment* dilakukan dengan mengitung umur kelelahan sambungan pada bagian *midship* FSO. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rules *ABS-Floating Production Installation* dan *CSR (Common Structure Rule)*.



Gambar V-5 Critical area posisiton

Berikut *summary* hasil perhitungan *fatigue life* pada bagian *midship* FSO sesuai dengan *critical area position*:

Tabel V-21 Summary hasil perhitungan fatigue life *bracket*

END CONNECTIONS		Load Case	Stress Range (N/mm ²)	Cummulative Damage	Fatigue Life (Years)	Remaining Fatigue Life (Years)
No.	Position					
1	Long. Bulkhead	LC 1	219.91	0.78	12.80	-30.20
		LC 2	218.32	0.78	12.88	-30.12
	Upper	LC 3	215.61	0.77	13.01	-29.99
		LC 4	208.74	0.74	13.54	-29.46
2	Long. Bulkhead	LC 1	210.44	0.34	29.37	-13.63
		LC 2	214.85	0.36	27.43	-15.57
	Lower	LC 3	217.12	0.38	25.98	-17.02
		LC 4	218.65	0.39	25.45	-17.55

Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui bahwa nilai *remaining fatigue life* untuk kedua *bracket* bernilai minus. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua *bracket* tersebut harus segera diganti karena tidak akan mampu untuk menahan beban yang bekerja untuk masa operasi 10 tahun kedepan. Nilai *remaining fatigue life* didapat dari:

$$\text{Remaining fatigue life} = \text{Fatigue life} - (2015 - \text{Vessel years built}) \dots\dots\dots (23)$$

V.9. Analisa Ekonomis

Analisa ekonomis pada penelitian ini dilakukan dengan cara membuat perhitungan estimasi biaya pembangunan *single buoy mooring* baru. Metode yang digunakan dalam analisa ini dengan menggunakan pendekatan biaya berdasarkan penelitian yang sebelumnya sudah dilakukan.

V.9.1. Biaya Pembangunan SBM

Perhitungan biaya pembangunan *single buoy mooring* (SBM) didahului dengan perhitungan item-item yang diperlukan dalam pembangunan SBM yang terdiri atas: *chain*, *achor*, *pipeline* dan SBM. Metode perhitungan biaya untuk *chain* menggunakan metode pada paper “*Consideration of the Cost Implication for Mooring MEC Device*”, untuk biaya anchor menggunakan metode pada paper “*An Overview of Drag Embedded Anchor Holding Capacity For Dredging and Offshore Applications*”, sedangkan perhitungan biaya *pipeline* dan SBM dengan metode pendekatan. Hasil perhitungan ditampilkan pada table dibawah ini:

Tabel V-22 Perhitungan biaya *mooring component acquisition*

Items	Cost/unit	Units	Cost (USD)
Chains	354	6	2,124
Anchors	17,897	6	107,382
SBM	5,000,000	1	5,000,000
Pipeline	1,431,955	1	1,431,955
Total			6,541,461

Selain perhitungan biaya *mooring component acquisition* juga dihitung biaya *design, review*, dan *bid support* serta instalasi SBM tersebut. Perhitungan dilakukan sesuai dengan metode pada paper “*Concept design of Mooring Buoy prepared by Coastwise Corporation Anchorage, Alaska*” maka estimasi instalasi *single buoy* baru seperti table dibawah ini:

Tabel V-23 Perhitungan biaya *design, review, and bid support*

Description	Cost (USD)
Analisisi& Engineering	330,000
Fatigue analysis (optional)	120,000
Bottom survey	100,000
On site wave data survey	167,000
Class Review Fees	40,000
Bid Packerage Preparation	40,000
Bid Packergae Review	20,000
Total	817,000

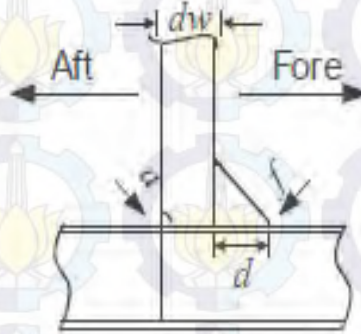
Tabel V-24 Perhitungan biaya instalasi SBM

Description	Cost (USD)
Pre-installation Engineering Support	40,000
On-site Intallation Engineering Support	110,000
On-site Class Survey	40,000
Connecting Hardware Acquisition	90,000
Pre-mooreage Intallation Work	450,000
Mobilization	1,305,000
Installation	4,330,240
Demobilization	705,000
Total	7,070,240

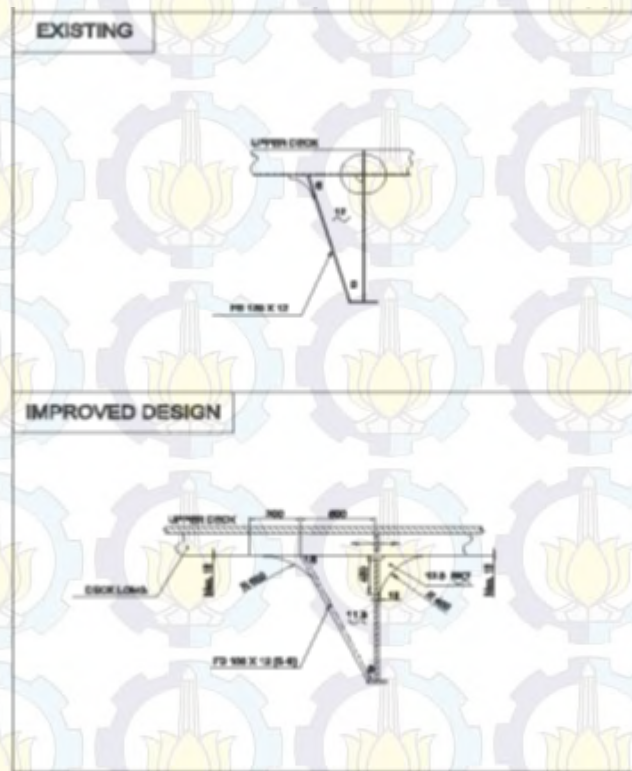
Dengan demikian total biaya yang diperlukan untuk pembangunan dan instalasi SBM sebesar **USD 14,428,701.**

V.9.2. Biaya Reparasi *Bracket*

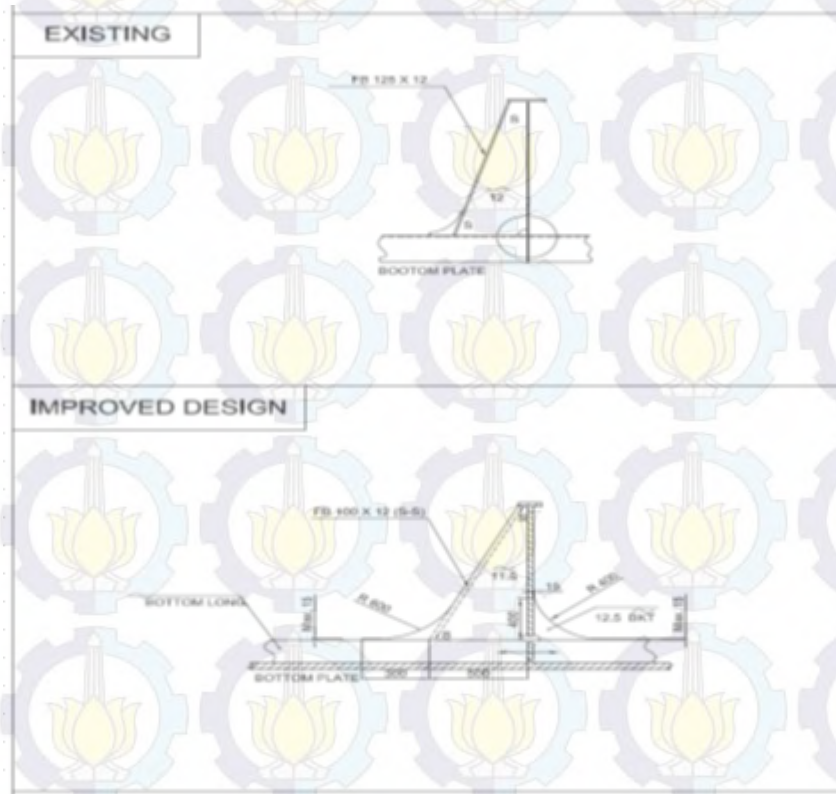
Perhitungan biaya reparasi *bracket* didahului dengan perhitungan *fatigue life assessment* pada *bracket* FSO. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, kedua *bracket* yang termasuk dalam *critical area position* memiliki nilai *remaining fatigue life* berharga minus yang berarti harus diganti. Penggantian *bracket* dilakukan seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar V-6 Penggantian *bracket*



Gambar V-7 Penggantian *bracket* untuk deck longitudinal dan deck transverse



Gambar V-8 Penggantian *bracket* untuk inner bottom longitudinal dan solid floor

Hasil perhitungan ditampilkan pada table dibawah ini:

Tabel V-25 Perhitungan biaya penggantian *bracket*

<i>Bracket</i>	T mm	d mm	Volume m3	Massa jenis baja kg/m3	Cost USD/kg	Jumlah <i>bracket</i>	Total cost USD
1	12	300	0.00108	7850	4	570	19,330
2	12	300	0.00108	7850	4	494	16,753

Biaya total untuk penggantian *bracket* sebesar **USD 36,082**

V.9.3. Biaya Replating

Perhitungan biaya *replating* dilakukan dengan mengecek apakah ketebalan pelat masih bisa bertahan untuk masa operasi 10 tahun kedepan sesuai sengan *rules class* berdasarkan hasil UT yang telah dilakukan. Untuk mengetahui ketebalan pelat untuk 10 tahun kedepan maka terlebih dahulu dicari nilai *corrosion rate/year*, untuk mengetahui pengurangan ketebalan pelat akibat pengaruh korosi. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, terdapat beberapa pelat yang harus diganti karena tidak dapat bertahan untuk masa operasi 10 tahun kedepan. Berikut hasil rekapitulasi perhitungan biaya penggantian pelat:

Tabel V-26 Perhitungan biaya replating

No	Position	Plate Position	Org. Thick. (mm)	P (mm)	L (mm)	V (m ³)	Masa jenis baja (kg.m3)	Weight	Cost USD/ kg	Total Cost USD
								(ton)		
1	Main Deck	Fr. 8 - Fr. 10	18	7900	1700	0.2417	7850	1897.659	3	5,693
	Fwd. Reading Portside	Fr. 15 - Fr. 17	20	7900	1700	0.2686	7850	2108.51	3	6,326
		Fr. 17 - Fr. 20	20	7900	1700	0.2686	7850	2108.51	3	6,326
		Fr. 22 - Fr. 24	20	7900	1700	0.2686	7850	2108.51	3	6,326
		Fr. 24 - Fr. 26	20	7900	1700	0.2686	7850	2108.51	3	6,326
		Fr. 29 - Fr. 32	18	7900	1700	0.2417	7850	1897.659	3	5,693
		Fr. 34 - Fr. 36	18	7900	1700	0.2417	7850	1897.659	3	5,693
		Fr. 36 - Fr. 37	18	7900	1700	0.2417	7850	1897.659	3	5,693
	Superstructure	C	10	9000	2527	0.2274	7850	1785.3255	3	5,356
	First Floor	D	10	9000	2527	0.2274	7850	1785.3255	3	5,356
		E2	10	9000	2527	0.2274	7850	1785.3255	3	5,356
3	Superstructure	A	9	18000	2320	0.3758	7850	2950.344	3	8,851
	Third Floor	B	16	28000	2320	1.0394	7850	8158.976	3	24,477
	Portside	C	9	16000	2320	0.3341	7850	2622.528	3	7,868
		D	9	15500	2320	0.3236	7850	2540.574	3	7,622
		E	9	15500	2320	0.3236	7850	2540.574	3	7,622

Biaya total yang diperlukan sebesar **USD 241,162.**

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan *mooring line tension* (tabel V-5 sampai tabel V-8), system tambat yang digunakan pada *existing terminal* (SBM + FSO) dapat digunakan untuk masa operasional selama 10 tahun kedepan karena nilai *actual safety factor* untuk semua *mooring chain* pada semua kondisi dan semua *load case* kurang dari nilai *allowable safety factor* (ABS).
2. Perhitungan *fatigue assesment* menunjukan *bracket midship* FSO (Gambar V-6) harus diganti karena nilai *remaining fatigue* kedua *bracket* tersebut minus, sehingga tidak akan mampu menahan beban yang bekerja untuk masa operasi 10 tahun kedepan.
3. Konsep alternatif konfigurasi *floating terminal* telah diperoleh sesuai dengan Gambar V-1 dan Gambar V-2. Alternatif konfigurasi ini menggunakan *mooring line properties* (*chain diameter, chain length, single buoy dimension*) yang sama dengan kondisi *existing terminal*.
4. Berdasarkan hasil perhitungan *mooring line tension* (tabel V-9 sampai tabel V-14), sistem tambat yang digunakan pada alternatif konfigurasi *floating terminal* dapat digunakan untuk masa operasional selama 10 tahun kedepan karena nilai *actual safety factor* untuk semua kondisi dan semua *load case* kurang dari nilai *allowable safety factor* (ABS).
5. Hasil perhitungan *cost estimation* pembangunan *singe buoy* baru membutuhkan biaya sebesar **USD 14,428,701.**
6. Hasil perhitungan *cost estimation* untuk reparasi *bracket* membutuhkan biaya sebesar **USD 36,802.**
7. Hasil perhitungan *cost estimation* untuk replating membutuhkan biaya sebesar **USD 241,162.**

VI.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian sejenis lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisa *mooring line tension* dengan menggunakan orcaflex versi terbaru (orcaflex versi 9.8) karena terdapat beberapa parameter yang berbeda dalam input sehingga bisa mendapat hasil yang lebih akurat.
2. Melakukan analisa lebih lanjut mengenai *fatigue life* pada *mooring chain*.
3. Melakukan analisa perhitungan biaya pembangunan SBM baru, reparasi *bracket*, serta *replating* dengan metode lain yang lebih akurat guna mendapat estimasi biaya yang lebih akurat.
4. Melakukan analisa *safety* untuk membandingkan tingkat *safety* antara *existing terminal* dan alternatif konfigurasi *floating terminal*.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. (1975). *"Rules for Building and Classing Single Point Mooring"*. New York
- ABSG Consulting Inc. (2004). *"Mooring Feasibility Study For FSO Cinta Natomas at Tuban SPM Terminal Report"*. Singapore
- Afriansyah, R. (2013). Tugas Akhir. *"Perancangan Buoy Mooring System Untuk Loading-Unloading Aframax Tanker Di Terminal Kilang Minyak Balongan"*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya
- API RP 2SK. (1996). *"Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping System for Floating Structures"*. Washington DC.
- Bhattacharya, R. (1998). *"Dynamic of Marine Vechicles"*. Jhon Wiley & Sons
- Chakrabarti,S.K. (1987). *"Hydrodinamic Offshore Structure"*. Berlin
- Coastwise Corporation Anchorage. (2011). *"Place of Refuge Initiative Mooring Buoy Initiative Concept Design of Mooring Buoy"*. Alaska
- Common Structural Rule for Double Hull Oil Tankers. Rules. 2012
- Djatkiko,E.B. (2012). *"Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak"*. Surabaya
- DNV-OS-E301. (2004). *"Positioning Mooring"*. Norway
- Journee and Massie. (2001). *"Offshore Hydrodinamic First Edition"*. Delf University of Technology.
- Johaning, L., Smith, G.H. (2009). *"Consideration of the Cost Implications for Mooring MEC Devices"*. UK
- Miedema, S.A., Lagers, G.H.G., Kerkvliet, J. (2007). *"An Overview of Drag Embedded Anchor Holding Capacity for Dreddging and offshore Applications"*. USA
- Orcaflex Manual Version 9.1a. UK
- Reference Manual for ANSYS 13.0 AQWA. (2009)
- Saputra. W.A. (2014). Tesis. *"Kajian Pemilihan Trading Tanker untk Konversi Menjadi FSO Di Perairan Laut Jawa"*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya
- Suantara.I.G.P. (2012). Tugas Akhir. *"Perancangan Single Buoy Mooring System FSO Kakap Natuna"*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya

KONVERGENSI FSO (Full Load)

Surge 0 deg

Frequency	Number of elements			
	1521	2555	4439	9417
0,029	2,800	2,798	2,799	2,801
0,042	1,501	1,499	1,500	1,501
0,055	0,715	0,714	0,715	0,716
0,068	0,144	0,145	0,146	0,147
0,081	0,226	0,225	0,224	0,223
0,094	0,250	0,250	0,250	0,250
0,107	0,190	0,190	0,190	0,190
0,120	0,117	0,117	0,117	0,117
0,133	0,089	0,089	0,089	0,089
0,145	0,091	0,092	0,092	0,092
0,158	0,058	0,058	0,058	0,058
0,171	0,049	0,049	0,049	0,049
0,184	0,036	0,036	0,036	0,036
0,197	0,028	0,028	0,028	0,028
0,210	0,021	0,021	0,022	0,022
0,228	0,017	0,017	0,017	0,017

Roll 90 deg

Frequency	Number of elements			
	1521	2555	4439	9417
0,029	8,11E-01	8,15E-01	8,18E-01	0,819
0,042	1,66E+00	1,66E+00	1,67E+00	1,672
0,055	6,80E+00	6,74E+00	6,73E+00	6,711
0,068	3,38E+00	3,45E+00	3,48E+00	3,509
0,081	1,21E+00	1,23E+00	1,24E+00	1,249
0,094	6,33E-01	6,44E-01	6,50E-01	0,655
0,107	3,50E-01	3,57E-01	3,62E-01	0,365
0,120	1,85E-01	1,90E-01	1,94E-01	0,196
0,133	8,47E-02	8,94E-02	9,20E-02	0,094
0,145	2,39E-02	2,78E-02	2,99E-02	0,032
0,158	1,01E-02	6,66E-03	4,94E-03	0,004
0,171	2,56E-02	2,24E-02	2,09E-02	0,020
0,184	3,10E-02	2,78E-02	2,65E-02	0,025
0,197	4,17E-02	3,18E-02	2,86E-02	0,026
0,210	2,16E-02	2,10E-02	2,05E-02	0,020
0,228	1,59E-02	1,48E-02	1,43E-02	0,014

Sway 90 deg

Frequency	Number of elements			
	1521	2555	4439	9417
0,029	3,338	3,339	3,339	3,339
0,042	2,235	2,236	2,236	2,237
0,055	1,658	1,657	1,659	1,659
0,068	1,214	1,215	1,215	1,215
0,081	0,958	0,959	0,959	0,960
0,094	0,760	0,761	0,762	0,762
0,107	0,600	0,601	0,602	0,602
0,120	0,474	0,475	0,475	0,475
0,133	0,377	0,378	0,378	0,379
0,145	0,292	0,293	0,293	0,294
0,158	0,227	0,227	0,228	0,228
0,171	0,174	0,175	0,175	0,175
0,184	0,133	0,134	0,135	0,135
0,197	0,091	0,099	0,102	0,104
0,210	0,081	0,081	0,081	0,082
0,228	0,058	0,058	0,058	0,058

Pitch 0 deg

Frequency	Number of elements			
	1521	2555	4439	9417
0,029	0,652	0,652	0,652	0,652
0,042	0,937	0,935	0,935	0,935
0,055	1,233	1,229	1,229	1,229
0,068	1,446	1,444	1,442	1,440
0,081	1,156	1,162	1,160	1,159
0,094	0,448	0,452	0,452	0,453
0,107	0,087	0,088	0,089	0,089
0,120	0,098	0,099	0,100	0,100
0,133	0,053	0,053	0,053	0,054
0,145	0,020	0,021	0,021	0,021
0,158	0,015	0,015	0,015	0,015
0,171	0,009	0,009	0,009	0,009
0,184	0,003	0,004	0,004	0,004
0,197	0,002	0,002	0,002	0,002
0,210	0,001	0,001	0,001	0,001
0,228	0,000	0,000	0,000	0,000

Heave 0 deg

Frequency	Number of elements			
	1521	2555	4439	9417
0,029	0,940	0,940	0,940	0,940
0,042	0,839	0,840	0,839	0,839
0,055	0,633	0,633	0,633	0,632
0,068	0,344	0,345	0,344	0,344
0,081	0,085	0,085	0,085	0,085
0,094	0,143	0,144	0,145	0,145
0,107	0,096	0,097	0,097	0,097
0,120	0,035	0,035	0,035	0,035
0,133	0,017	0,017	0,017	0,017
0,145	0,014	0,014	0,014	0,014
0,158	0,007	0,008	0,008	0,008
0,171	0,004	0,004	0,004	0,004
0,184	0,003	0,003	0,003	0,003
0,197	0,001	0,001	0,001	0,001
0,210	0,001	0,001	0,001	0,001
0,228	0,000	0,000	0,000	0,000

Yaw 90 deg

Frequency	Number of elements			
	1521	2555	4439	9417
0,029	3,03E-03	3,01E-03	3,02E-03	0,003
0,042	3,27E-03	3,26E-03	3,27E-03	0,003
0,055	8,36E-03	8,39E-03	8,20E-03	0,008
0,068	2,15E-02	2,20E-02	2,18E-02	0,022
0,081	1,72E-02	1,77E-02	1,75E-02	0,018
0,094	1,74E-02	1,77E-02	1,76E-02	0,018
0,107	2,16E-02	2,17E-02	2,16E-02	0,022
0,120	2,89E-02	2,90E-02	2,90E-02	0,029
0,133	2,97E-02	2,98E-02	2,98E-02	0,030
0,145	3,23E-02	3,23E-02	3,24E-02	0,032
0,158	3,76E-02	3,77E-02	3,78E-02	0,038
0,171	3,34E-02	3,35E-02	3,36E-02	0,034
0,184	3,37E-02	3,39E-02	3,39E-02	0,034
0,197	2,82E-02	2,85E-02	2,88E-02	0,029
0,210	2,32E-02	2,34E-02	2,34E-02	0,023
0,228	1,62E-02	1,63E-02	1,64E-02	0,016

BIODATA PENULIS



Dilahirkan di Singaraja (Bali) pada 6 Juli 1993, Penulis merupakan anak satu-satunya dalam keluarga. Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS pada tahun 2011 melalui jalur SNMPTN-Undangan

Di Jurusan Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal. Selama masa studi di ITS, penulis aktif berkegiatan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan (Himatekpal) serta Tim Pembina Kerohanian Hindu ITS (TPKH-ITS). Di tahun pertamanya di Himatekpal pada periode kepengurusan 2012-2013, Penulis berkontribusi sebagai staff Departemen Pendidikan dan Keprofesian, yang dilanjutkan sebagai Kepala Departemen di periode kepengurusan selanjutnya. Sedangkan untuk tahun pertama di TPKH-ITS pada periode kepengurusan 2012-2013, Penulis berkontribusi sebagai staff Departemen Humas.

Penulis juga telah mengikuti beberapa pelatihan diantaranya; LKMM Pra-TD dan LKMM TD yang diadakan oleh BEM Fakultas Teknologi Kelautan ITS, serta pelatihan-pelatihan software yang diadakan Jurusan Teknik Perkapalan seperti *Autocad Intermediate Course*, *Maxsurf Modelling Course*, *ANSYS AQWA Course*, *ANSYS CFX Course*, *ANSYS Structure Course*.

Pada pertengahan tahun 2014, Penulis menyelesaikan Kerja Praktek di PT. Multi Ocean Shipyard yang berlokasi di Karimun, Kepulauan Karimun, Riau. Sedangkan pada awal tahun 2015 Penulis menyelesaikan Kerja Praktek di PT. PAL Indonesia yang berlokasi di Surabaya.

Ketertarikan Penulis pada bidang *oil and gas* mengantarkannya mengambil Tugas Akhir yang berjudul “**ANALISA TEKNIK DAN EKONOMIS *FLOATING TERMINAL* UNTUK *CRUDE OIL* DI TUBAN**” dibawah bimbingan Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

Email: iputu.suryana@gmail.com